



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
BARCELONATECH

Escola Superior d'Enginyeries Industrial,  
Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa

ESEIAAT

# Memòria del projecte

---

**TÍTOL DEL TREBALL:** Projecte de disseny d'un vehicle aeri autònom especial,  
Flybrick

**ESTUDIS:** Grau en Enginyeria en Vehicles Aeroespacials

**ESTUDIANT:** Gríful Donés, Mateu

**DIRECTOR DEL TREBALL:** Morcego Seix, Bernardo

**DATA D'ENTREGA:** 10/06/2018



# Índex

<b>Llistat de Taules</b>	<b>iv</b>
<b>Llistat de Figures</b>	<b>v</b>
<b>Llistat d'Acrònims</b>	<b>vii</b>
<b>1 Introducció</b>	<b>1</b>
1.1 Objectiu . . . . .	1
1.2 Abast . . . . .	1
1.3 Antecedents . . . . .	2
1.4 Requeriments . . . . .	2
1.5 Justificació . . . . .	3
<b>2 Estat de l'art</b>	<b>4</b>
2.1 Envans mòbils . . . . .	4
2.2 Vehicles aeris autònoms . . . . .	6
2.2.1 Classificació . . . . .	6
2.2.2 Quadrotor . . . . .	7
<b>3 Disseny Conceptual</b>	<b>9</b>
3.1 Forma . . . . .	9
3.2 Nombre de Rotors . . . . .	9
3.3 Hèlix . . . . .	11
3.4 Components necessaris i diferents alternatives . . . . .	13
3.5 Estimació del pes del Flybrick . . . . .	15
3.6 Estimació del temps de vol . . . . .	16
3.7 Pressupost inicial . . . . .	16
<b>4 Disseny Mecànic</b>	<b>17</b>
4.1 Marc o xassís . . . . .	17
4.2 Motors . . . . .	18
4.3 Hèlixs . . . . .	20
4.4 Sistema d'anclament . . . . .	22
<b>5 Disseny Elèctric</b>	<b>24</b>
5.1 Bateria . . . . .	24

# ÍNDEX

5.2	Configuració de circuits . . . . .	26
5.3	Connexió de cables . . . . .	29
<b>6</b>	<b>Disseny Electrònic</b>	<b>31</b>
6.1	Comunicació . . . . .	31
6.1.1	Radiocontrol . . . . .	31
6.1.2	Bluetooth . . . . .	32
6.1.3	Mètode <i>Ad-hoc</i> de radiofreqüència . . . . .	32
6.1.4	Connexió Wifi . . . . .	33
6.1.5	Arduino de bord i receptor de wifi . . . . .	35
6.1.6	Comunicació Arduino-Controladora . . . . .	36
6.2	Localització . . . . .	38
6.2.1	Global Positioning System . . . . .	38
6.2.2	Motion Capture System . . . . .	38
6.3	Estabilitat de vol . . . . .	39
6.3.1	Controladora de vol . . . . .	39
6.3.2	ESC o variadors . . . . .	40
<b>7</b>	<b>Disseny de Control</b>	<b>41</b>
7.1	Sistemes de referència . . . . .	41
7.2	Control de posició i actitud . . . . .	42
7.3	Llaços de Control . . . . .	43
7.4	Algoritmes de trajectòria . . . . .	46
<b>8</b>	<b>Construcció</b>	<b>47</b>
8.1	Components . . . . .	47
8.2	Procediment d'ensamblatge . . . . .	47
8.2.1	Anclament de motors . . . . .	47
8.2.2	Treball de soldadura . . . . .	49
8.2.3	Proves de motors . . . . .	51
8.2.4	Configuració de Components . . . . .	52
<b>9</b>	<b>Resultats</b>	<b>53</b>
<b>10</b>	<b>Pressupost del projecte</b>	<b>54</b>
10.1	Estudi de viabilitat econòmica . . . . .	55
<b>11</b>	<b>Estudi de l'impacte ambiental del projecte</b>	<b>56</b>

## ÍNDEX

---

<b>12 Seguretat</b>	<b>57</b>
12.1 Fusió de material plàstic . . . . .	57
12.2 Treballs de Soldadura . . . . .	57
12.3 Brocat d'orificis . . . . .	57
12.4 Operació de la Flywall . . . . .	58
<b>13 Planificació del projecte i futur desenvolupament</b>	<b>59</b>
13.1 Planificació del projecte . . . . .	59
13.2 Futur desenvolupament . . . . .	61
<b>14 Conclusions del treball</b>	<b>63</b>
<b>15 Bibliografia</b>	<b>64</b>

## Llistat de Taules

3.1	Estimació inicial del pes del Flybrick . . . . .	15
3.2	Pressupost inicial del Flybrick . . . . .	16
4.1	Dades d'impressió del marc del Flybrick. . . . .	17
4.2	Taula d'operació del Motor Brushless RS1106 amb la hèlix EMAX 2345 . . . . .	21
5.1	Característiques de la bateria de 850 mAh . . . . .	25
5.2	Característiques de la bateria de 1200 mAh . . . . .	25
6.1	Exemplificació codi per a comunicació via ràdio. . . . .	33
8.1	Taula amb el càlcul del pes del Flybrick . . . . .	52
9.1	Taula de característiques del Flybrick. . . . .	53
10.1	Desglossament del cost del projecte . . . . .	54
10.2	Paret de 2 m d'alçada en funció de la seva longitud . . . . .	55
13.1	Correlacions entre les tasques del futur desenvolupament del projecte. . . . .	59
13.2	Cost d'una paret de 2 m en funció de la longitud. . . . .	62

## Llistat de Figures

2.1	Arquitectura d'un envà mono-direccional (esquerra) i envà multi-direccional (dreta).	4
2.2	Arquitectura constructiva d'una paret mitjançant UAV	5
2.3	Estat del mercat actual de les empreses de drones	7
2.4	Drones similars amb prestacions diferents. [8]	8
3.1	Dos rotors de 110 mm de diàmetre	10
3.2	Configuracions possibles amb quatre rotors	11
3.3	Esquema de distribució de forces.	11
3.4	Nomenclatura hèlixs	12
4.1	Primer disseny del Flybrick	18
4.2	Motor Brushless Micro EMAX RS1106 de 4500KV	19
4.3	Anclament Brushless.	19
4.4	Sistema de fixació dels motors.	20
4.5	Esquema encaix entre Flybricks, anclament longitudinal	22
4.6	Esquema encaix entre Flybricks	23
4.7	Sistema de fixació entre Flybricks.	23
5.1	Esquema de connexió de bateries en sèrie.	26
5.2	Esquema de connexió de bateries en paral·lel.	26
5.3	Sistema de connexió elèctrica del Flybrick.	28
5.4	Contacte de les soldadures d'estany, conductor de l'electricitat.	28
5.5	Planta del Flybrick per a la observació dels orificis per al cablejat	29
5.6	Configuració elèctrica dels dos Flybricks	29
5.7	Contacte de les soldadures d'estany, conductor de l'electricitat.	30
6.1	Protocols de comunicació	31
6.2	Esquema de comunicació mitjançant ones de ràdio	33
6.3	Esquema de comunicació mitjançant wifi	34
6.4	Plaques Arduino Uno amb wifi incorporat	35
6.5	Esquema de l'inverter	37
6.6	Esquema de connexió de la controladora	37
6.7	Controladora EMAX F3 Femto Brushless	39
6.8	Controlador de velocitat EMAX	40
7.1	Configuracions típiques de Quadrotors [1]	41
7.2	Esquema en perspectiva i en planta per a definir els sistemes de referència.	41
7.3	Esquema de control d'un drone.	42
7.4	Esquema de control del Flybrick.	44

## LLISTAT DE FIGURES

---

7.5	Llaç de control del Flybrick. . . . .	45
8.1	Peça de prova de la fixació del Flybrick. . . . .	47
8.2	Broca de mà utilitzada per a ampliar els forats d'anclament. . . . .	48
8.3	Resultat de la instal·lació dels cargols. . . . .	48
8.4	Esquema de connexió de la controladora, planta i vista inferior de la placa. . . .	49
8.5	Connexió entre el motor i el variador, i entre el variador i la controladora F3. . .	49
8.6	Resultat de la soldadura dels quatre motors i del cablejat de la bateria a la controladora. . . . .	50
8.7	Orientació del Flybrick definida. . . . .	51
8.8	Distribució final de components . . . . .	52
9.1	Muntatge final del Flybrick. . . . .	53
13.1	Diagrama Gantt del projecte futur . . . . .	60
13.2	Desacoplament de parts del Flybrick. . . . .	61
13.3	Separació de parts del Flybrick. . . . .	62



## Llistat d'Acrònims

mm	mil·límetre
cm	centímetre
m	metre
in	polzada
W	Watt
A	Ampere
V	KiloVolt
V	Volt
Pa	Pascal

BN	<i>[Anglès] Bull Nose</i>
CAD	<i>[Anglès] Computer Aided Designing</i>
HBN	<i>[Anglès] Hybrid Bull Nose</i>
IMU	<i>[Anglès] Inertial Measurement Unit</i>
PLA	<i>[Anglès] Polylactic Acid</i>
PN	<i>[Anglès] Pointy Nose</i>
PPM	<i>[Anglès] Pulse Position Modulation</i>
PWM	<i>[Anglès] Pulse Width Modulation</i>
SBUS	<i>[Anglès] Serial Bus</i>
UAV	<i>[Anglès] Unmanned Aerial Vehicle</i>
ISO	<i>[Anglès] International Standarization Organization</i>
DIN	<i>[Alemany] Deutsches Institut für Normung. Institut alemany de normalització</i>
M2	Mètrica 2
3D	3 Dimensions

## Abstract

El *Projecte de disseny d'un vehicle autònom especial, Flybrick*, és un dels primers projectes de construcció d'estructures mitjançant vehicles aeris. El projecte gira entorn al disseny d'un vehicle per a la construcció d'una paret o envà mòbil constituïda per vehicles aeris autònoms amb una finalitat estructural. El present document recull les alternatives proposades i les solucions escollides pel disseny d'un d'aquests vehicles. Professionals del sector de l'arquitectura porten temps fent recerca de metodologies d'implementació de tecnologia pel sector de la construcció. L'ús de la robòtica i la maquinària de control numèric són alternatives contemplades pel sector, no obstant, aquestes venen limitades pel tamany de les màquines, per aquest motiu, el present projecte presenta una alternativa a allò convencional i obre les portes a unes prestacions i capacitats constructives superiors.

# 1 Introducció

## 1.1 Objectiu

Aquest projecte té com a finalitat el disseny d'un vehicle aeri amb la capacitat de crear un envà mòbil o Flywall<sup>1</sup> a partir de petites peces independents amb moviment autònom o Flybricks<sup>2</sup>. En altres paraules, l'objectiu és fer el disseny òptim i característic d'un drone que, juntament amb altres del seu mateix tipus, pugui passar a formar part d'un envà o paret mòbil, sent els maons que constitueixen la paret, peces amb moviment autònom.

## 1.2 Abast

### *Tasques incloses dins del projecte:*

- Amb ajuda de la literatura existent, entendre l'arquitectura i dinàmica general d'un vehicle aeri autònom.
- Pre-dimensionat del vehicle: volum, estimació del pes, potència dels rotors, etc.
- Disseny mecànic del Flybrick.
- Disseny elèctric del Flybrick.
- Disseny del mètode de control del Flybrick.
- Selecció dels sistemes electrònics del Flybrick.
- Creació total o parcial d'un prototip.

### *Tasques fora del projecte:*

- Implementació del control.
- Proves de vol
- Construcció de la Flywall.

---

<sup>1</sup>Flywall: nom assignat a la paret creada a partir de la unió de diferents Flybricks.

<sup>2</sup>Flybrick: nom assignat al vehicle aeri en forma de totxana que es dissenya en el present projecte.

## Secció 1: Introducció

---

### 1.3 Antecedents

Actualment la indústria de l'UAV està en creixement, i cada vegada hi ha més aplicacions per a aquests vehicles autònoms. El present projecte consisteix en el disseny d'un prototip amb una aplicació diferent a les més comunes del mercat combinant el món de l'enginyeria aeronàutica amb el de l'arquitectura.

En cas de fer una producció en cadena de Flybricks per a la construcció d'un envà mòbil, el cost d'aquest superaria el preu de qualsevol envà que es pot trobar al mercat. No obstant, l'objectiu no és competir a nivell pràctic o econòmic amb altres envans, sinó introduir aspectes innovadors i tecnològics a l'arquitectura, així com aportar un caire estètic i d'espectacle al moviment de parets en cas d'esdeveniments públics.

Durant el disseny i construcció del prototip hi haurà certs punts claus que determinaran el resultat de tot el projecte:

- Identificació correcta dels principals problemes tècnics a resoldre pel disseny.
- Disseny elèctric, selecció de sistemes electrònics i de control.
- Integració final de components.

### 1.4 Requeriments

- Cada Flybrick haurà de tenir una mida raonable, semblant a la mida d'un maó dels que s'utilitzen en construcció. Mides aproximades de 200x150x70 mm.
- El Flybrick, un cop ancorat a la seva posició dins la Flywall haurà de carregar-se elèctricament.
- Robust contra cops.
- Mobilitat en roll, pitch i yaw.
- Capacitat d'encaix amb altres Flybricks.
- Disseny adaptat per al control mitjançant un ordinador
- Autonomia suficient pel desplaçament i encaix.

### 1.5 Justificació

El present projecte s'allunya dels conceptes pre establerts en el món dels vehicles aeris i de l'arquitectura, per a fer una investigació i una recerca que, tot i no ser de competència ni amb ànim lucratiu, obre noves portes pel disseny i la construcció tant d'edificis convencionals com d'edificis trencadors.

Alhora, el treball esdevé un mitjà per a treballar disciplines de tot tipus dins l'enginyeria; des del disseny, l'enginyeria de circuits elèctrics i electrònics i la configuració d'estructures de comunicació i control, entre d'altres.

D'aquesta manera, el present projecte permet posar en pràctica les aptituds adquirides durant el transcurs de la carrera acadèmica, allunyant-se però de la vessant més teòrica. Així doncs, apareix l'oportunitat d'aplicar les metodologies de treball apreses i la pràctica de la professió d'enginyer, resolent problemes tant de caire tecnològic, com de gestió de projectes.

## 2 Estat de l'art

En aquesta secció es presenta un estudi del context tecnològic en el que es troba el present projecte. El concepte que es planteja en aquest projecte és experimental i no està implementat al mercat. Com es tracta d'un envà mòbil creat per vehicles aeris autònoms, l'estat de l'art és tant de parets o envans mòbils, com de vehicles aeris autònoms.

### 2.1 Envans mòbils

Actualment hi ha una gran varietat de parets i envans mòbils, no obstant, la seva instal·lació sol ser laboriosa i, tot i així, les possibilitats de moviment d'aquests envans són limitades. Al mercat se'n poden trobar de diferents tipus, Existeixen envans de tipus mono-direccional i multi-direccional.

Els envans mono-direccionals són aquells que permeten moviment en un sentit o en un altre, tenen l'inconvenient que si es volen guardar, ocupen bastant espai. Una alternativa a aquests envans és l'envà multi-direccional, que permet el moviment en diferents direccions, això facilita el seu emmagatzematge i a l'hora de situar-los, permeten una major mobilitat i possibilitat de subjecció. A la Figura 2.1 es pot veure esquematitzat el respectiu moviment.

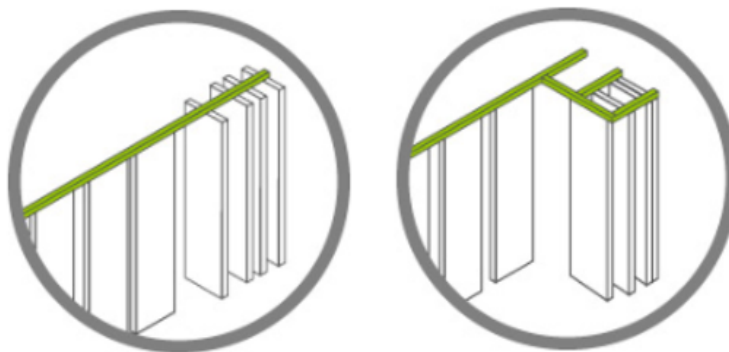


Figura 2.1: Arquitectura d'un envà mono-direccional (esquerra) i envà multi-direccional (dreta).

[2]

Tal i com es pot observar, el moviment d'ambdós tipus d'envans ve condicionat per unes guies, motiu pel que la seva mobilitat es veu limitada, requereixen d'un sistema de guies i un muntatge previ al moviment d'aquests, sent un canvi de configuració molt difícil d'aplicar.

Allunyant-se ara d'allò convencional, es troba un grup d'experts que va realitzar l'any 2017 uns projectes teòrics o estudis amb l'objectiu de tenir maons amb moviment autònom

## Secció 2: Estat de l'art

per tal de formar figures o parets complexes. Un grup de vehicles autònoms va recollint les diferents peces i les situen al seu lloc corresponent. Mitjançant una configuració prèvia, el resultat que s'obté és una paret que es pot anar movent peça a peça mitjançant vehicles aeris. El que s'aconsegueix mitjançant aquest sistema es pot veure a la Figura 2.2.



Figura 2.2: Arquitectura constructiva d'una paret mitjançant UAV  
[24]

El projecte no va destinat exclusivament a la creació d'una paret, va enfocat a la construcció d'un nou concepte d'edifici revolucionari arquitectònicament parlant, no obstant, es poden observar clarament capacitats d'operació dels vehicles autònoms i configuració de sistemes de localització i comunicació d'ambdós projectes semblants.

Així doncs, el projecte de construcció del Flybrick s'allunya de cercar un element de competència a nivell de mercat, per a assimilar-se a un projecte experimental de recerca i investigació.

## 2.2 Vehicles aeris autònoms

Per tal de contruir el Flybrick de manera adequada, cal fer, també, un estudi de mercat per a veure quines són les diferents alternatives quan es tracta de possibles formes de vehicles aeris i de drones<sup>3</sup>.

Així doncs, caldrà estudiar el nombre de rotors, els sistemes de control i de comunicació, així com també els equips externs de localització i comunicació que es poden trobar en els diferents UAV del mercat.

Els UAV es poden classificar seguint diferents criteris, segons l'altitud que poden assolir, l'autonomia, les mides, el tipus de ala entre d'altres.

### 2.2.1 Classificació

Segons el disseny aeronàutic tenim la següent classificació:

- **Ales rotants:**
  - **Un rotor:** Configuració helicòpter, rotor principal i rotor estabilitzador.
  - **Coaxial:** Dos rotors coaxials que giren en sentits contraris per temes d'estabilitat, requereixen de control de pas variable.
  - **Trirotors:** El fet de tenir un nombre imparell de rotors provoca problemes d'estabilitat degut a que no es compensen els moments entre parells de motors. Aquest fenomen requereix una correcció, la més típica és tenir un rotor d'orientació variable. Això produeix un augment en el software i en el disseny del UAV però comporta uns avantatges en agilitat i estabilitat del drone respecte altres configuracions més típiques, com el quadrotor.
  - **Quadrotors:** Compensació de motors dos a dos, simplicitat en el vol a punt fix, versàtil, gran relació potència-maniobrabilitat.
  - **Altres Multirotors:** Configuracions de més de quatre motors. Cost energètic molt elevat. Molta estabilitat.
- **Ala fixa:** Obtenen la sustentació degut al seu moviment a alta velocitat a través de l'aire. Es descarta el seu estudi per la seva incapacitat de realitzar vol a punt fix.
- **Aeròstat:** Tipus Globus o Blimps, utilització de materials molt lleugers i gasos menys densos. Es descarta també el seu estudi per motiu del seu gran volum.

---

<sup>3</sup>Un drone és un vehicle aeri no tripulat i controlat remotament.



## Secció 2: Estat de l'art

Preliminarment, la distribució que millors prestacions té per a la creació del Flybrick és la del quadcòpter. No obstant, amb un estudi més exhaustiu es definirà de manera adequada el nombre de rotors òptim.

### 2.2.2 Quadrotor

Existeixen moltes empreses dedicades a la venda de drones de quatre rotors, al mercat es venen tot tipus de drones, de moltes mides diferents, les més famoses i que lideren el mercat són DJI i Parrot. A continuació es presenta la Figura 2.3, que mostra les empreses punteres en venda de drones del mercat <sup>4</sup>.

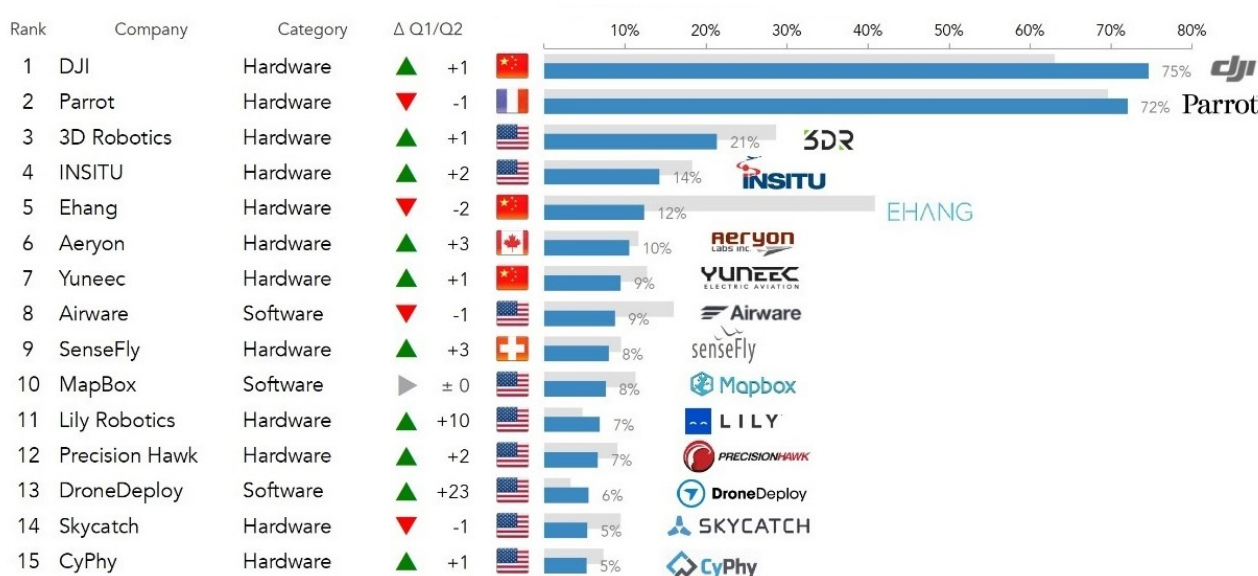


Figura 2.3: Estat del mercat actual de les empreses de drones

[13]

Aquestes empreses es dediquen generalment a la venda de drones per al lleure o per a fer fotografies, motiu pel que les prestacions d'aquests drones solen buscar la màxima autonomia possible, o les potències més elevades. Aquestes no són les prestacions que perseguirà el Flybrick, el present projecte requerirà, doncs, de fer recerca de drones amb motors de mida petita i d'alta potència, però no per a obtenir una maniobrabilitat molt elevada, sinó per a poder operar amb un xassís més pesat.

<sup>4</sup>Les dades han estat obtingudes segons el nombre de cerques a google de cada empresa, segons la freqüència d'aparicions a la premsa i segons el nombre de treballadors de la companyia. L'empresa capdavantera rep una nota de 100% en la categoria, la resta de notes es fan respecte la capdavantera seguint una relació lineal.

## Secció 2: Estat de l'art

A continuació es presenten dos models de drones de característiques semblants i finalitats diferents, que mantenen una relació de mida i operen amb els mateixos motors.



(a) Babyhawk de competició per a operar en exterior. (b) Babyhawk per a fotografies i vídeos per a operar a l'interior.

Figura 2.4: Drones similars amb prestacions diferents. [8]

El drone de la Figura 2.4 a) és un drone que pesa aproximadament 150 g, el seu objectiu és tenir una gran capacitat de maniobra, ja que està enfocat a la competició i a l'acrobàcia. La seva autonomia de vol depèn molt de les intensitats a les que es faci treballar el motor, tot i així, és un vehicle que aproximadament dóna entre tres i cinc minuts de temps de vol. Per altra banda, el drone de la Figura 2.4 b), redueix el pes del vehicle per a augmentar la seva autonomia. Ambdós vehicles porten el mateix motor, no obstant, varien les seves característiques per a tenir diferents funcions, mentre un prioritza la seva potència i maniobrabilitat, l'altre prioritza l'autonomia.

Pel cas del Flybrick cal procedir de manera semblant. Escollir un motor equivalent al que utilitzen aquests drones, però modificar altres paràmetres constructius per a tenir diferents prestacions. D'aquesta manera, el que resulta és un augment del pes del vehicle, patint un deteriorament tant en capacitat de maniobra, com en temps d'autonomia.

## 3 Disseny Conceptual

Aquest apartat té com a finalitat expressar les diferents alternatives considerades a l'hora de fer un primer disseny del vehicle i la manera amb què es resolen les dificultats trobades al llarg del projecte. Un cop presentades les diferents alternatives s'exposarà la selecció de l'alternativa més viable.

### 3.1 Forma

Per temes de geometria queden descartats els aeròstats, ja que la seva forma de sustentació requereix d'una gran superfície plena de gas, i per a la Flywall això és un impediment a l'hora de l'acoblament i de la seva aplicació. Per una altra banda, per a possibilitar l'acoblament entre els diferents Flybricks, es descarten aquells UAV amb problemes amb el vol estacionari, els vehicles d'ala fixa, els vehicles Birdlike i Insectlike quedarien, doncs, descartats.

Així doncs, la solució al problema és un vehicle aeri d'ales rotatòries. Cal definir quants rotors són necessaris, i la seva ubicació. Un cop seleccionat el tipus de vehicle, cal seleccionar la forma que aquest tindrà.

Tractant-se d'un element per a la construcció, el Flybrick haurà de tenir una forma semblant a la d'una totxana, així doncs es contempla la forma de paral·lelepípede de sis cares o hexaedre. L'altura del vehicle seria la menor de les dimensions del Flybrick, i es contemplaria una planta quadrada o rectangular, sent preferible la rectangular per la major similitud amb una totxana.

### 3.2 Nombre de Rotors

Els vehicles de més de quatre rotors tenen unes grans prestacions en estabilitat i potència amb càrregues elevades, amb un cost en consum elevat. El Flybrick no requereix d'una potència molt elevada, motiu pel que el fet de tenir un nombre elevat de rotors no aporta avantatges substancials al Flybrick. Per aquest motiu i per la impossibilitat d'encabir les hèlixs a la invariable geometria del Flybrick, queden descartades les configuracions de més de quatre rotors.

Cal tenir en compte també, que si es fa servir un nombre imparell de rotors, el sistema de control adquireix dificultat, i es requereix d'un sistema d'inclinació o vàlvula servo per a mantenir l'estabilitat del vehicle. El resultat són vehicles amb menor estabilitat i majors capacitats de maniobrabilitat. El Flybrick no requereix de grans capacitats de maniobrabilitat,

### Secció 3: Disseny Conceptual

és prioritària l'estabilitat a la maniobrabilitat. Per aquest motiu es descarta la configuració de tres rotors.

Així doncs, han estat descartades totes les configuracions exceptuant la configuració amb dos rotors i la configuració amb quatre. El que s'aconsegueix amb la configuració mostrada a la Figura 3.1 és que es pot ubicar un rotor amb unes dimensions el doble de grans respecte del quadrotor, no obstant, cal tenir en compte el cost que té en dificultat de control el fet de tenir dues fonts de potència.

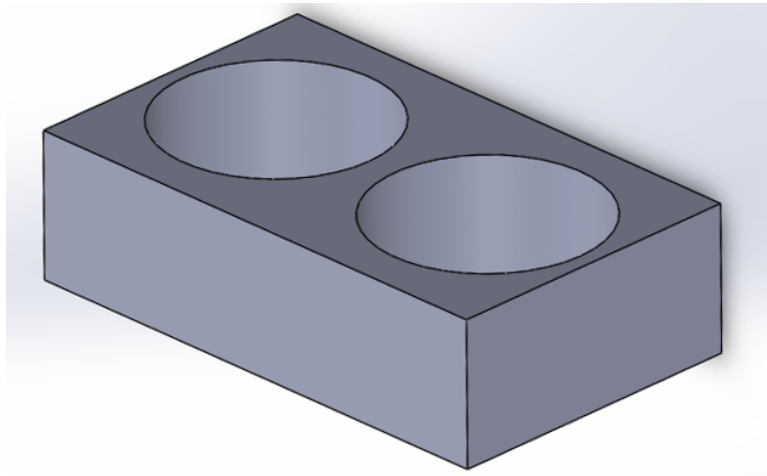
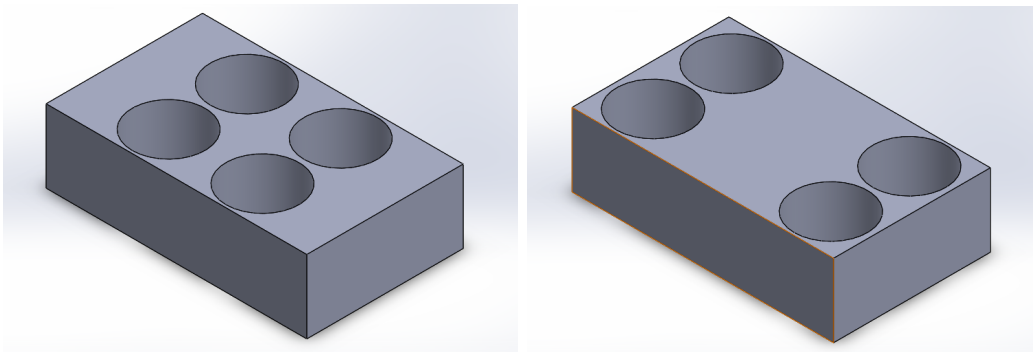


Figura 3.1: Dos rotors de 110 mm de diàmetre .

En el cas de tenir dos rotors, els moments generats per la rotació de les pales es compensen entre si, no obstant, a l'hora de controlar els moviments de l'aparell davant d'una pertorbació, per exemple, es requereix de control de pas variable o de la possibilitat de pivotar dels rotors, aquest fet complica, dificulta i sobretot encareix la manufactura del Flybrick.

A continuació es mostra la configuració amb quatre rotors, aquests poden anar als extrems, o centrats. Com s'ha comentat anteriorment, es pateix un empitjorament respecte la configuració birotor, ja que la configuració birotor permet tenir uns rotors més grans. Tot i que la ubicació òptima per temes de facilitat del control és aquella més simètrica Figura 3.2 a), és més important el fet de tenir els rotors situats als extrems Figura 3.2 b).

## Secció 3: Disseny Conceptual



(a) Rotors centrats de 70 mm de diàmetre en configuració quadrada  
 (b) Rotors als extrems de 70 mm de diàmetre en configuració rectangular

Figura 3.2: Configuracions possibles amb quatre rotors

El que s'utilitza per a definir quina de les dues serà la configuració definitiva és la teoria de moments. A la configuració mostrada a la Figura 3.2 a) apareix un problema amb les contribucions de moment a la zona exterior als rotors, i el fet de tenir els rotors centrats fa que sigui necessària gran potència dels rotors per a petites compensacions de moment. Així doncs, la configuració òptima és la mostrada a la Figura 3.3, amb els rotors als extrems, ja que el centre de gravetat està centrat i la força de propulsió als laterals del Flybrick fa que les pertorbacions de l'equilibri puguin ser ràpidament compensades.

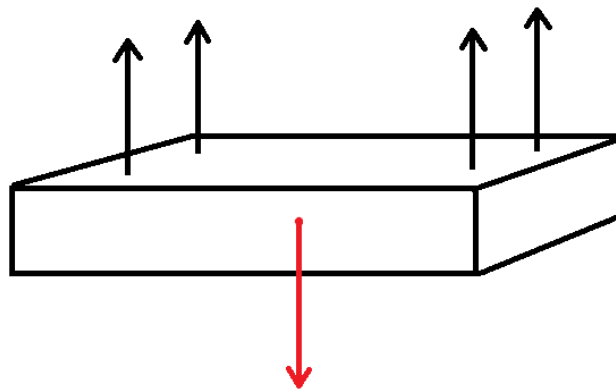


Figura 3.3: Esquema de distribució de forces.

### 3.3 Hèlix

A l'hora d'escollir hèlix per al Flybrick cal tenir en compte que es poden escollir múltiples mides, diferents materials i formes, tenint en compte que es pot variar el nombre de pales en funció de l'actuació esperada de l'UAV.

### Secció 3: Disseny Conceptual

Les hèlix generen empenta mitjançant el moviment rotatiu de les pales, fent que es desplaci una massa d'aire, produint una força que, pel fenomen d'acció-reacció, empeny el vehicle en direcció contrària a la del moviment de la massa d'aire. Com més massa d'aire es mou, més gran és la força propulsiva, i viceversa. Per a regular la quantitat de massa d'aire que es mou es pot escollir un diàmetre d'hèlix major, o augmentar el pas de l'hèlix. Quanta més massa d'aire es pot moure, també es produeix un consum més elevat dels motors.

Un altre paràmetre que té gran importància quan es parla d'hèlixs és la seva forma. La diferència més significativa en aeromodelisme és la forma de la punta de les hèlixs. Pointy nose, Bullnose (BN) i Hybrid Bullnose (HBN).

- **Pointy nose:** Acabada en punta. És la configuració més eficient, però obté l'empenta més petita en comparació amb la resta.
- **Bullnose:** Acabament pla, més àrea superficial que l'hèlix acabada en punta. Això genera un moviment d'aire major i per tant una major empenta i consum.
- **Hybrid Bullnose:** Presenta un punt mig entre les dues configuracions prèviament explicades.

Actualment al mercat existeix una nomenclatura per a parlar d'hèlixs. A cada hèlix se li relaciona un número de quatre xifres. Les dues primeres expressen el diàmetre de l'hèlix en polzades, les dues xifres posteriors fan referència al pas de la hèlix. Així doncs, si s'observa la Figura 3.4, es pot veure que l'hèlix negra té associada la xifra 6045 i està acabada en punta. Això vol dir que aquesta hèlix és una pointy nose i té un diàmetre de 6 polzades, mentre que el 45 ens expressa el pas que té la hèlix.



Figura 3.4: Nomenclatura hèlixs

[16]

Un altre paràmetre a tenir en compte és el nombre de pales. Actualment les més populars en aeromodelisme són les de dues o tres pales. Com més nombre de pales, més massa d'aire desplaçada, no obstant, tenir quatre pales és molt poc eficient, i no es manifesten empentes

## Secció 3: Disseny Conceptual

---

molt més elevades que respecte tres pales. A l'hora de triar entre dues pales i tres pales, cal decidir si impera tenir més potència amb un cost elevat de consum, o reduir potència per a una major durada de la bateria.

Si s'enfoca ara l'estudi de les hèlixs per al Flybrick, es pot concloure per motiu de les limitacions de mida, que les hèlixs no poden superar els 80 mm de diàmetre. Mirant l'equivalència de polzada (in) a metres (m):  $1 \text{ in} = 0.0254 \text{ m}$  s'obté:

$$80 \text{ mm} = 0.08 \text{ m} = 3.15 \text{ in}$$

Així doncs, cal fer recerca d'hèlixs de diàmetre inferior a 3.15 in.

### Alternatives:

- Hèlix de 2.3 in (58.42 mm) comprada al mercat.
- Hèlix de 3 in (76.20 mm) comprada al mercat.
- Hèlix del tamany desitjat dissenyada per al Flybrick.

## 3.4 Components necessaris i diferents alternatives

En aquest subapartat es contemplen les possibles alternatives per als diferents components que requerirà el Flybrick.

- **Marc o xassís:** Per a fer la part estructural del Flybrick cal escollir la manera idònia per a la seva construcció. Per motius de complexitat geomètrica i preu, en una primera instància la millor solució seria la de fer una impressió 3D, ja que permet la creació de peces de geometria complexa, amb una densitat baixa i en conseqüència un pes baix, mantenint unes propietats de rigidesa considerables.
- **Motors:** Agafant com a números grossos que el Flybrick tingui un pes final d'aproximadament 0.5 kg i afegint un factor de seguretat de 1.5 s'obté:

$$Empenta \text{ Necessària} = \gamma \cdot P = 1.5 \cdot 500 \simeq 750 \text{ g}$$

Veient l'empenta necessària estimada i la limitació de tamany de les hèlixs a mides inferiors a 3.15 in es busquen els motors del mercat per a sustentar aquesta massa.

## Secció 3: Disseny Conceptual

---

Així doncs, el pes aproximat del Flybrick i la petita mida de les hèlixs requereixen la instal·lació d'un motor petit però molt potent. Per tant es procedeix a fer recerca en motors de competició. Es troba que un dels models més petits de Brushless, que alhora permet hèlixs més petites de 3.15 in, és el Micro Brushless RS1106, i que podria ser una alternativa viable pel disseny.

- **ESC** (Electronic Speed Controller o variador): Aquest dispositiu serveix per a regular la velocitat de gir d'un motor elèctric. Es requereix d'un ESC per cada motor Brushless. Fent recerca de motors Brushless viables pel Flybrick es veu que els motors treballaran sempre vora els 6 A o 7 A de corrent, motiu pel qual es considera que un ESC de 12 A pot ser una solució al tema de control de velocitat dels motors.
- **Controladora de vol:** També coneguda com a unitat de control, és l'encarregada del control automàtic del drone. Mitjançant un llaç o loop de control, que combina informació de sensors que porta incorporats i d'un model matemàtic, processa i realitza les comandes rebudes remotament, i manté l'estabilitat del sistema. Consta dels següents elements:
  - Giroscopi
  - Acceleròmetre
  - Brúixola
  - GPS o localitzador

Cal tenir en compte que es pot programar la placa controladora des de zero i configurar les diferents peces, tot i així, això suposa una càrrega de treball de moltes hores, és per això que es selecciona una opció de placa controladora preprogramada, que amb una petita configuració es pugui adaptar per al Flybrick. Una possible solució per al Flybrick són les controladores mostrades a continuació:

- Ardupilot
  - Pixhawk
  - Paparazzi
  - Controladora F3
  - Controladora F4
- **Bateries LIPO:** Per al present projecte cal tenir en compte que, entre les possibles alternatives d'alimentació del vehicle, la més viable és l'ús d'una bateria. Es selecciona una bateria Lipo perquè està molt estesa pel mercat, i les seves prestacions estan molt ben catalogades segons el model que es compri. Així doncs, cal comprovar dues coses, el



## Secció 3: Disseny Conceptual

voltatge necessari i l'amperatge. Les dues alternatives que sorgeixen ràpidament veient els voltatges d'operació dels motors brushless contemplats i els consums de corrent, són les següents:

- Bateria LiPo 7.4 V i entre 500mAh-1500mAh.
- Bateria LiPo 11.1 V i entre 500mAh-1500mAh.
- **Comunicació:** Per a escollir el mètode de transmissió de dades i informació cal un sistema de comunicació, i per a realitzar aquesta tasca es considera en una primera instància la transmissió de dades i comandes mitjançant vies de ràdio, wifi o bluetooth. Caldrà doncs, buscar la metodologia de connexió amb la bateria i amb la controladora.

### 3.5 Estimació del pes del Flybrick

En aquesta secció el que es farà és calcular, en una primera aproximació, el pes que tindrà cada Flybrick. Reunint tota la informació de l'apartat 3.4 *Componentes necessaris i diferents alternatives* s'obté la següent Taula 3.1:

Part	Unitats	Pes Unitari (g)	Pes (g)
Marc o xassís	1	300	300
Motors Brushless	4	7	28
Variadors o ESC	4	2	8
Controladora de vol	1	3	3
Hèlixs	4	3	12
Bateries LIPO	1	72	72
Imans	2	4	8
Cablejat			30
Comunicacions	1	30	30
Total			491 g

Taula 3.1: Estimació inicial del pes del Flybrick

Tal i com es pot observar a la Taula 3.1, feta a partir de les peces trobades, es pot assumir que el pes del Flybrick serà d'aproximadament 500 grams. Tot i així, si es creu convenient que el pes del Flybrick sigui major, per un tema de robustesa, el pes del xassís del vehicle es pot veure incrementat.

## Secció 3: Disseny Conceptual

### 3.6 Estimació del temps de vol

En aquest apartat es procedirà a donar una primera xifra de temps d'autonomia del Flybrick. Per a fer-ho es tindrà en compte el temps expressat a l'apartat 1.4 *Requeriments* incrementat amb un factor de seguretat, posteriorment es procedirà a estudiar les bateries seleccionades per al Flybrick. El fet que el Flybrick es carregui un cop ancorat a la resta de Flybricks i la seva aplicació, fa que no sigui necessària ni una autonomia ni un abast molt grans, és per això que es selecciona la bateria més petita que permeti un vol de pocs minuts, temps que dura el moviment i l'anclament d'aquest.

Segons el fabricant, una bateria LiPo de 7.4 V o una de 11.1 V carregada sense mantenir una despesa d'intensitat màxima, treballant entre 3 A i 7 A obté una autonomia d'aproximadament un parell de minuts, temps més que suficient per al moviment i l'anclament del vehicle. Un cop es seleccioni la bateria es podrà fer un càlcul més precís del temps d'autonomia.

### 3.7 Pressupost inicial

En aquest apartat es presenten les primeres xifres obtingudes del cost que tindrà la creació del prototip (cost de materials), posteriorment es farà un pressupost real afegint les hores d'enginyeria destinades a ell.

Fent recerca del preu més barat possible dels components escollits, es troba una primera aproximació del preu dels components, Taula 3.2.

Part	Unitats	Preu Unitari	Preu (€)
Marc o xassís	1	5	5
Motors Brushless	4	14	56
Reguladors o ESC	4	10	40
Controladora de vol	1	25	25
Hèlixs	4	1.5	6
Bateries LIPO	1	10	10
Receptor Ràdio/Wifi	1	10	10
Emissora Ràdio/wifi	1	5	5
Cablejat			5
Comunicacions	1	16	16
Total			178 €

Taula 3.2: Pressupost inicial del Flybrick

## 4 Disseny Mecànic

En aquest apartat es selecciona d'entre les possibles alternatives mostrades a la secció 3 *Disseny Conceptual* la solució més adequada de cada component per a la construcció del Flybrick.

### 4.1 Marc o xassís

L'alternativa contemplada per a contruir l'estructura del Flybrick és la impressió 3D. El materials que es poden utilitzar per a fer la impressió són molts, es contempla l'opció d'utilitzar un dels següents: PLA, ABS, LAYWOO-D3/LAY-BRICK, NYLON, PVA/HIPS, FILAFLEX o BENDLAY.

S'estudia l'alternativa d'imprimir a la impressora del Departament de Control Automàtic en una impressora Zortrax M200. No obstant, aquesta impressora té uns límits màxims d'impressió de 200x200x180, aquest fet limita la mida estimada del Flybrick, ja que s'havia estimat una de les seves dimensions de 200mm a l'apartat 1.4 *Requeriments* i després amb el disseny es confirma el fet que unes mides inferiors a 200mm no són viables. És per aquest motiu que es contemplen altres alternatives per a realitzar la impressió.

Es demana un pressupost a l'equip Fablab de Terrassa, el cost és de 28 €, i el temps d'impressió que estimen és de 19 h.

Una bona solució per al Flybrick és l'ús de PLA<sup>5</sup>. Per a calcular el pes del xassís un cop ja es tenen els dissenys cal saber, doncs, la densitat del filament i la longitud total gastada. Segons l'equip del Laboratori de Fabricació o FABLAB de Terrassa, les dades d'impressió són les que es mostren a la Taula 4.1.

<i>Característica</i>	<i>Magnitud</i>
<i>Pes</i>	370 g
<i>Fil gastat</i>	46.85 m
<i>Temps d'impressió</i>	18h 58min

Taula 4.1: Dades d'impressió del marc del Flybrick.

Com es pot observar, el pes del marc obtingut és més elevat del que es va calcular a l'apartat 3.1 *Estimació del pes*, tot i així, calculant el pes del Flybrick amb les noves dades es

<sup>5</sup>Polylactic Acid o Àcid Polilàctic

## Secció 4: Disseny Mecànic

---

segueix estant dins del marge d'operació dels components de potència (bateria i motors).

S'ha de tenir en compte que la impressió no està completament plena de material, s'ha de distingir entre la capa externa estructural (una capa de 1.5mm) i el material per a omplir les zones internes a la part estructural.

Tenint en compte que caldrà fer un estudi d'anclament de motors i de posicionament de components que resultarà en modificacions del disseny inicial, es presenta un primer disseny de l'estructura del Flybrick a la Figura 4.1.

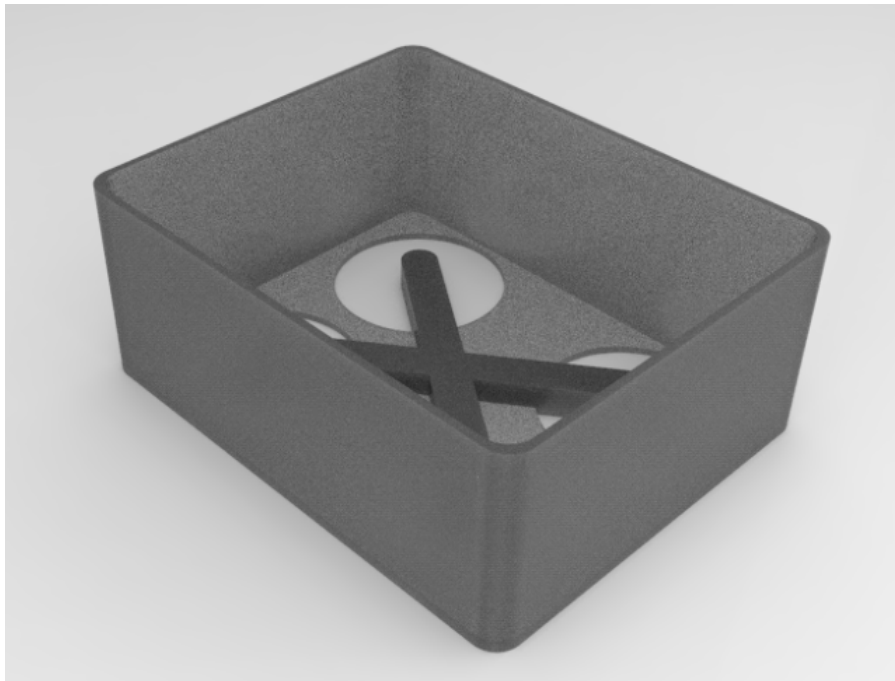


Figura 4.1: Primer disseny del Flybrick

### 4.2 Motors

Per tal de mantenir un marge de seguretat en el tema de potència de motors, s'escull un motor que pugui permetre una major empenta de la calculada inicialment, per això s'escull una bateria més gran, de tres cel·les. El motor es selecciona tenint en compte l'empenta necessària i la compatibilitat amb hèlixs de 2.3 o 3 polzades; definit a l'apartat 3.3 *Hèlix*.

## Secció 4: Disseny Mecànic

Es contemplen doncs les diferents alternatives del motor escollit:

- Motor Brushless Micro EMAX RS1106 de 4500 KV
- Motor Brushless Micro EMAX RS1106 de 6000 KV
- Motor Brushless Micro EMAX RS1106 de 7500 KV

El que dona una empenta major, sempre dins de les possibilitats de la bateria, és el de 4500 KV, que alhora és l'únic d'entre els tres models compatible amb una bateria de tres cel·les. Per això, d'entre les possibles alternatives del motor Motor Brushless Micro EMAX RS1106 s'escull el de 4500 KV.



(a) Motor Brushless Micro EMAX RS1106 de 4500KV [15] (b) Renderitzat del motor Brushless Micro EMAX RS1106 de 4500KV

Figura 4.2: Motor Brushless Micro EMAX RS1106 de 4500KV

Aquest motor, per a fixar-se a qualsevol estructura, requereix de quatre cargols de M2 situats a un diàmetre de 9 mm, tal i com es pot veure a la Figura 4.3.

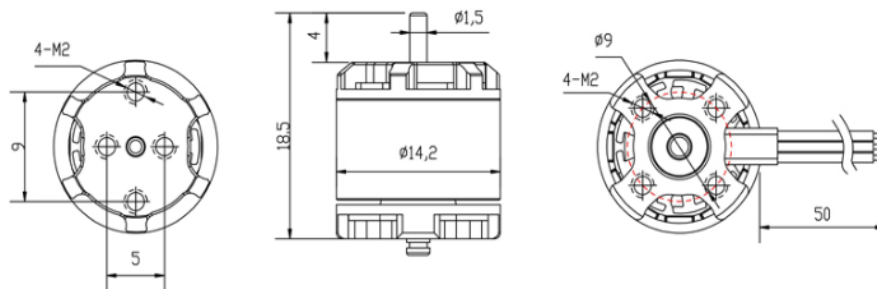


Figura 4.3: Anclament Brushless.

[14]

## Secció 4: Disseny Mecànic

Es contemplen doncs, diferents opcions per a l'anclament dels motors:

- Donar mètrica al plàstic PLA.
- L'ús de dispositius d'anclament metàl·lic.
- Fer un forat passant pel que passarà el cargol.

La primera opció es descarta pel motiu que un roscat en PLA no és resistent i la mètrica es trencaria amb el temps, queden doncs dues opcions per a dur a terme. Escollir entre les dues és un tema més complex, ja que afegint el dispositiu d'anclament metàl·lic no només s'afegeix pes al Flybrick sinó que se'n complica la construcció i encareix el preu, però és un sistema d'encaixament més adequat i per motiu de la predicció de fortes vibracions dels motors brushless s'escull com a via de subjecció dels motors. Així doncs, es realitzen quatre forats per motor a la zona de subjecció tal i com es pot veure a la Figura 4.4 b), dins d'aquests orificis s'hi introduirà la peça mostrada a la Figura 4.4 a) i, mitjançant fusió de material PLA es deixarà completament fixat.



(a) Peça amb interior per a atornillament en plàstic de mètrica 2.

(b) Forats passants per a insertar la peça amb mètrica 2

Figura 4.4: Sistema de fixació dels motors.

Per tal de provar el sistema de fixació dels motors s'imprimeix la zona del Flybrick on van anclats els motors. Veure Secció 8 *Construcció*.

### 4.3 Hèlixs

En una primera estimació, a l'apartat 3.3 *Hèlix* es comenta la possibilitat de tenir hèlixs de 2.3 o de 3 polzades de diàmetre, amb tot, a l'apartat 4.1 *Marc o Xassís* de disseny estructural es limita l'amplada del Flybrick per a mantenir una forma rectangular, més

## Secció 4: Disseny Mecànic

semblant a una totxana. Això resulta en la possibilitat única de fer servir hèlixs de màxim 2.3 polzades.

Així doncs, cal modificar la selecció del nombre de pales que tindrà l'hèlix. Observant les empentes de diferents models de dues pales es veu ràpidament que no ofereixen l'empenta requerida per a fer volar el Flybrick, és per aquest motiu que es selecciona una hèlix bullnose<sup>6</sup> de tres pales, ja que són el model que més empenta aporten. Cal tenir en compte, també, que la selecció de l'hèlix va lligada amb la selecció del motor, ja que els motors accepten uns tipus d'hèlixs i uns altres no. És per això que es busca al catàleg del fabricant de motors per a veure la compatibilitat amb diferents hèlixs, així doncs, un cop la limitació de tamany i el nombre de pales s'han tingut en compte, cal buscar l'empenta adequada dels motors per tal d'aguantar el Flybrick suspès.

A la Taula 4.2 es pot observar la capacitat d'operació d'un motor amb l'hèlix escollida EMAX 2345 Triblade a diferents amperatges. Es tracta d'una hèlix de tres pales, Bullnose, de 2.3 in i amb un pas de 45.

Motor Type	Voltage (V)	Propeller	Current (A)	Thrust (G)	Power (W)	Efficiency (GW)	Speed (RPM)
RS1106-4500KV	12	EMAX 2345 Tri-Blade	1	37	12.00	3.08	15680
			2	62	24.00	2.58	20910
			3	92	36.00	2.56	24150
			4	122	48.00	2.54	27640
			5	146	60.00	2.43	29830
			6	160	72.00	2.22	32450
			7	175	84.00	2.08	33290
			7.4	183	88.80	2.06	33790
			8.1	210	97.20	2.16	34820

Taula 4.2: Taula d'operació del Motor Brushless RS1106 amb la hèlix EMAX 2345

[23]

Es pot observar a la Taula 4.2 que amb una intensitat de 6 A, capacitat d'operació mitjana del motor, s'obté una empenta de 160 g per motor; i amb una intensitat de 8.1 A, intensitat màxima del motor, se n'obté una de 210 g per motor:

$$Empenta\ mitjana \simeq 160 \cdot 4 = 640\text{ g}$$

$$Empenta\ màxima \simeq 210 \cdot 4 = 840\text{ g}$$

<sup>6</sup>Hèlix Bullnose: hèlix amb acabament pla, detallat a l'Apartat 3.3 *Hèlix*

## Secció 4: Disseny Mecànic

Si tenim en compte que el pes estimat del Flybrick és de 500 g, es pot concloure que amb la configuració motor-hèlix escollida, s'obté una empenta suficient per al funcionament del Flybrick.

### 4.4 Sistema d'anclament

Després de contemplar les diferents opcions, el sistema escollit per a l'anclament és l'encaix físic entre Flybricks. Per tal de dur a terme de manera correcta el sistema d'encaix, cal tenir en compte que s'ha de bloquejar tant el moviment transversal com el longitudinal del Flybrick. Així doncs, per a bloquejar el moviment longitudinal, cada Flybrick tindrà als laterals de la part superior una forma punxeguda que encaixarà amb una ranura situada al centre de la part inferior d'un altre Flybrick. Per tal de veure-ho amb més claredat observar la Figura 4.5.

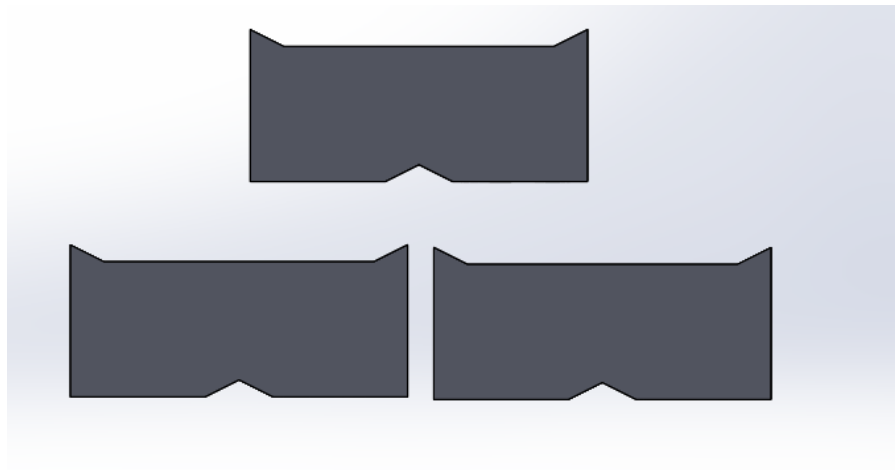


Figura 4.5: Esquema encaix entre Flybricks, anclament longitudinal

Per a bloquejar el moviment transversal, el Flybrick tindrà una ranura a la part superior també, que encaixarà amb la part central d'un altre Flybrick.

Aquest sistema geomètric permet realitzar un encaixament amb més facilitat, donant una tolerància o permetent una imprecisió major durant l'aproximació del Flybrick. A la Figura 4.6 es pot observar les arestes i ranures característiques que permeten l'encaixament entre Flybricks.



## Secció 4: Disseny Mecànic

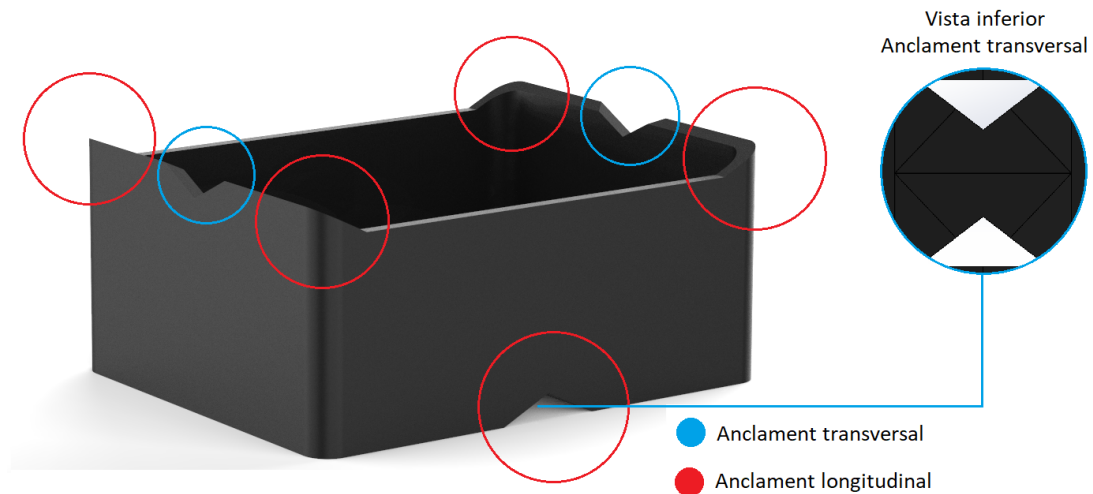
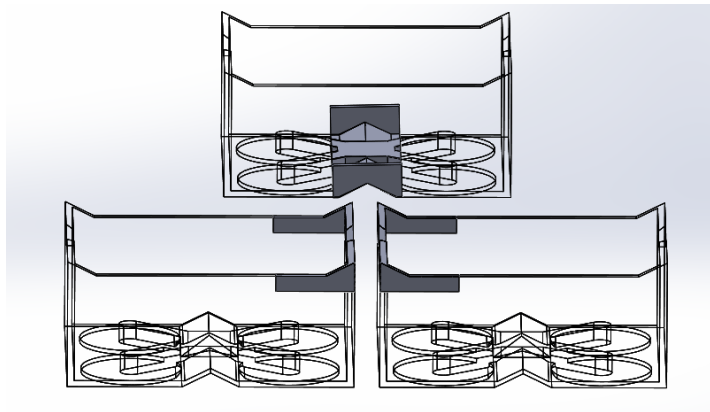


Figura 4.6: Esquema encaix entre Flybricks

Per tal de comprovar el funcionament del sistema, es procedeix a fer una impressió de diferents peces clau de l'encaixament entre Flybricks. Les peces que es seleccionen són els punts de contacte entre els diferents Flybricks, tal i com es pot veure a la Figura 4.7, d'aquesta manera s'assegura, en una primera instància, que el sistema d'encaixament funciona. Per tal de poder imprimir la peça, cal fer un suport per la zona que està en voladís, un cop acabada la impressió, després de tallar el suport i polir el material sobrant de la impressió, es comprova que el sistema d'encaix funciona.



(a) Fotografia de les diferents peces d'encaix.



(b) Esquema sistema encaixament.

Figura 4.7: Sistema de fixació entre Flybricks.

Es tracta d'un sistema senzill, que no requereix de vàlvules servo ni sistemes de control afegits, i realitza la seva funció de manera adequada.

## 5 Disseny Elèctric

Aquesta secció està destinada a la selecció de la bateria i al disseny de la configuració del cablejat del Flybrick, així com també a fer una primera aproximació a la xarxa elèctrica que s'esdevindrà amb la combinació de Flybricks quan constitueixin la Flywall.

### 5.1 Bateria

A l'hora d'escollir la bateria cal mirar quin és el voltatge al que treballen els brushless. El motor RS1106 de 4500KV, tal i com es pot veure a la Taula 4.2, treballa a 12 V. Un cop conegut el voltatge al que funciona es comprova amb quin tipus de bateries és compatible, ho és amb bateries de dues i tres cel·les (2S i 3S respectivament).

Es selecciona ara una bateria de tres cel·les (3S), amb una tensió de 3.7V per cel·la, no obstant, cada cel·la accepta una càrrega de fins a 4.22 V, és a dir, una bateria carregada al 100% dóna el següent voltatge:

$$\begin{aligned}\text{Voltatge bateria} &= 3 \cdot 3.7 = 11.1 \text{ V} \\ \text{Voltatge bateria al 100\%} &= 3 \cdot 4.2 = 12.6 \text{ V}\end{aligned}$$

Així doncs, la bateria LiPo de 11.1 V, quan està carregada dóna un voltatge de 12.6 V. Com es requereixen 12 V per a l'operació del motor i aquesta bateria ja els dóna, s'escull la de 11.1 V d'entre les diferents possibilitats.

El següent pas en relació amb la bateria és escollir quin amperatge ha de tenir, en una primera instància les estimacions inicials eren la necessitat d'un amperatge d'entre 500 mAh i 1500mAh. Ara que es té una millor concepció dels components, es procedeix a calcular el temps de vol aproximat, millorant així les dades proporcionades a l'apartat 3.6 *Estimació temps de vol*. Abans de procedir amb els càlculs cal, doncs, estimar el consum d'intensitat dels motors. Les dades suggereixen que el Flybrick tindrà un pes final de 500 g, calculant amb 600 g com a marge de seguretat s'obté que per a compensar aquest pes cal (consultant la Taula 4.2 d'operació del motor RS1106) que el motor operi a aproximadament 6 A. Tenint en compte que hi ha 4 motors, es té una despesa total de 24 A.

La primera bateria que es contempla és un model de 850 mAh. A la Taula 5.1 es poden observar les seves prestacions.

## Secció 5: Disseny Elèctric

### Bateria LiPo 850 mAh

Referència	SN-AE-850-3S-25c
Elements:	3S
Capacitat	850mAh
Voltatge	11,1V
Intensitat màxima contínua	25C - 21,25 Amp.
Intensitat màxima discontinua	50C - 42,5 Amp. (6 sec.)
Capacitat de càrrega	2C
Dimensions	19x25x70mm
Pes	72 grams

Taula 5.1: Característiques de la bateria de 850 mAh

Fent un senzill càlcul s'obté l'autonomia amb una bateria de 11.1 V i 850 mAh.

$$t = \frac{850 \cdot 10^{-3} \cdot 60}{6 \cdot 4} = 2.13 \text{ min}$$

La segona bateria que es contempla és un model de 1200 mAh. A la Taula 5.2 es poden observar les seves prestacions.

### Bateria LiPo 1200 mAh

Referència	SN-AE-1200-3S-25C
Elements:	3S
Capacitat	1200mAh
Voltatge	11,1V
Intensitat màxima contínua	25C - 30 Amp.
Intensitat màxima discontinua	50C - 60 Amp. (6 sec.)
Capacitat de càrrega	2C
Dimensions	29x30x52mm
Pes	92.5 grams

Taula 5.2: Característiques de la bateria de 1200 mAh

Fent el mateix senzill càlcul per la bateria de 11.1 V i 1200mAh s'obté:

$$t = \frac{1200 \cdot 10^{-3} \cdot 60}{6 \cdot 4} = 3 \text{ min}$$

Així doncs la bateria de 850 mAh dona una autonomia aproximada de 2 min i la de 1200mAh de 3 min. No obstant, s'ha de tenir en compte que la bateria de 1200mAh pesa 20 g més que la de 850 mAh. Amb tot, el motiu decisiu a l'hora d'escollir bateria és que la de 1200 mAh té una secció més grossa, fet que complica la distribució interna del Flybrick. Per aquest motiu s'escull la bateria de 850 mAh.

## 5.2 Configuració de circuits

En aquest apartat es discuteix la metodologia de càrrega de les bateries un cop els vehicles estan ancorats. El sistema resultant serà un mallat de corrent elèctrica circulant de Flybrick a Flybrick.

Cal tenir en compte com fer les connexions per a no superar els límits de voltatge o d'intensitat de les fonts d'energia. Així doncs, es contemplen les configuracions en paral·lel o en sèrie. Una connexió en sèrie requereix d'un voltatge molt elevat, i una connexió en paral·lel requereix d'una intensitat molt elevada.

Per començar es contempla la connexió en sèrie mostrada a la Figura 5.1, que és el sistema més simple de connexió elèctrica. No obstant, el fet de tenir les bateries en sèrie podria ser un problema, ja que quan una bateria estigués carregada del tot, impediria el pas de corrent a la resta de bateries. Per aquest senzill motiu es descarta la connexió en sèrie.

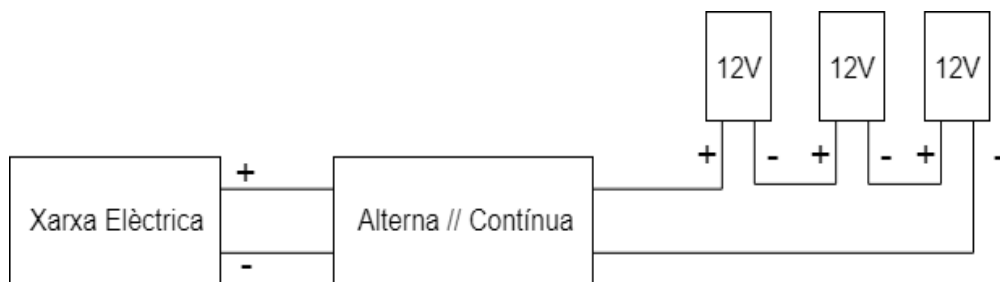


Figura 5.1: Esquema de connexió de bateries en sèrie.

Per altra banda es contempla la connexió en paral·lel mostrada a la Figura 5.2, que permet repartir de manera més adequada la tensió global del sistema. Ara doncs, cal saber la intensitat amb la que es carreguen les bateries per a veure si és possible o no la connexió en paral·lel.

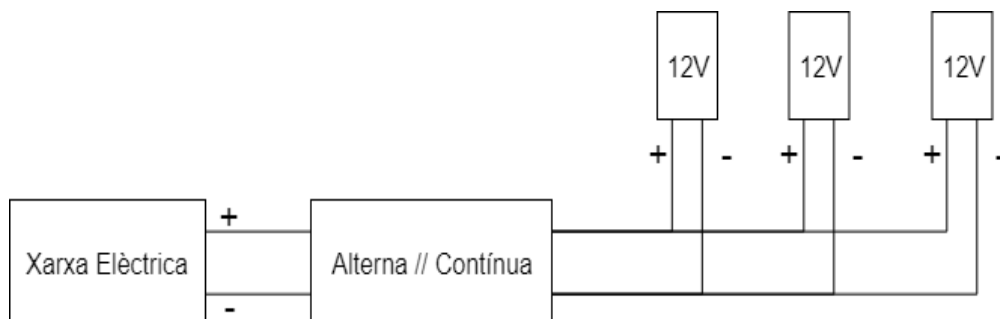


Figura 5.2: Esquema de connexió de bateries en paral·lel.

## Secció 5: Disseny Elèctric

---

Mitjançant una Pinça Hall o consultant el catàleg de la bateria es pot obtenir la intensitat amb la que s'ha de carregar. Tenint en compte que la bateria és de 850 mAh, caldrà carregar a una corrent que no excedeixi els 0.85 A.

Si es considera una paret de  $2000 \times 2000 \text{ mm}^2$ , contruïda amb 250 Flybricks (25 files i 10 columnes) s'obté una intensitat total a subministrar de:

$$I = 250 \cdot 0.85 = 212.5 \text{ A}$$

Agafant la resistivitat del coure, considerant la longitud de cable com  $L=25 \text{ m}$  i introduint a la següent equació s'obté:

$$\rho_{Cu} = 0.0171 \Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m} \text{ [22]}$$

$$S = \frac{2 \cdot \rho \cdot L \cdot I}{\Delta V} = \frac{2 \cdot 0.0171 \cdot 25 \cdot 212.5}{12} = 15.14 \text{ mm}^2 \quad (5.1)$$

Aquesta secció és la d'un cable de diàmetre  $\phi = 4.4 \text{ mm}$ . Es pot deduir doncs, que seria possible realitzar la càrrega de menys de 250 bateries amb un sol sistema de corrent.

Recalculant ara per un cas d'una paret de  $3000 \times 5000 \text{ mm}^2$ , amb 950 Flybricks, s'obté:

$$S = \frac{2 \cdot \rho \cdot L \cdot I}{\Delta V} = \frac{2 \cdot 0.0171 \cdot 95 \cdot 807.5}{12} = 218.6 \text{ mm}^2$$

En aquest cas, el diàmetre del cable és de  $\phi = 16.7 \text{ mm}$ . Un diàmetre de quasi 2 cm és massa gran, implica massa pes; per aquest motiu, cal considerar una càrrega per trams. Una solució és carregar dues rengleres o files de Flybricks a la vegada i tenir una presa de corrent i un transformador cada dues files.

En aquest cas i considerant una paret de 5000 mm de llargada. Caldria una secció de  $0.3 \text{ mm}^2$ , que és un diàmetre de  $\phi = 0.62 \text{ mm}$ .

Així doncs, el resultat serà una càrrega cada dues fileres de Flybricks, la corrent anirà passant de Flybrick a Flybrick de la manera que es mostra a la Figura 5.3

## Secció 5: Disseny Elèctric

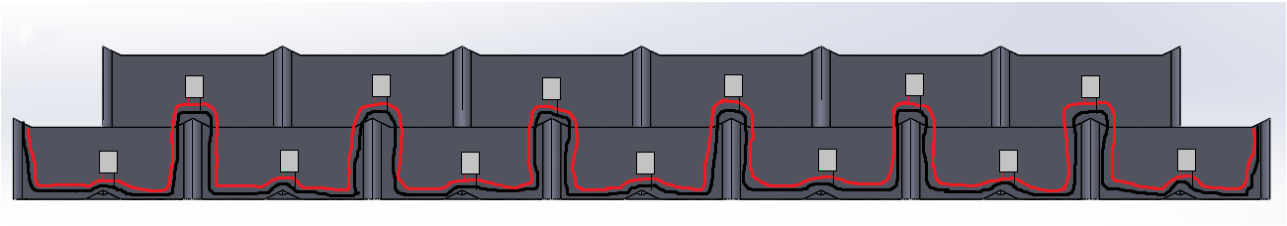


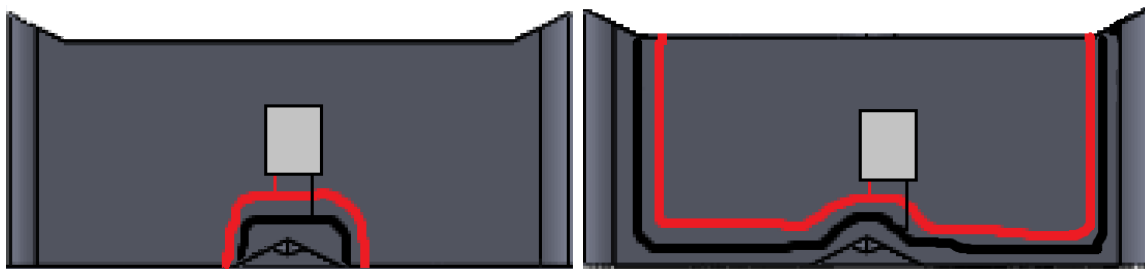
Figura 5.3: Sistema de connexió elèctrica del Flybrick.

La línia negra de la figura és el cable negatiu de corrent, mentre que la línia vermella és el positiu. D'aquesta manera es pot observar la connexió en paral·lel de les bateries.

Aquest sistema de connexió de corrent condiciona l'acoblament dels Flybricks, ja que cal connectar el cable positiu d'un Flybrick amb el positiu del següent, i de la mateixa manera amb el negatiu. No es poden connectar al revés perquè això faria malbé la bateria. Per aquest motiu és important definir una cara anterior i una posterior del Flybrick. La placa controladora ajuda a realitzar aquesta tasca perquè considera una de les direccions al pla horitzó com a davant.

A part, caldrà definir dos tipus de Flybricks per motiu de la seva configuració elèctrica:

- **Flybrick Superior:** Aquest tipus tindrà la connexió de cables a la zona inferior central del Flybrick. Es connectarà amb dos Flybricks Inferiors.
- **Flybrick Inferior:** Aquest tipus tindrà la seva connexió a la part superior i als extrems del Flybrick. Es connectarà amb dos Flybricks Superiors.



(a) Flybrick superior.

(b) Flybrick inferior.

Figura 5.4: Contacte de les soldadures d'estany, conductor de l'electricitat.

Un cop definida com serà la connexió a la Flywall, es dissenya un sistema geomètric per a deixar pas als cables: cada Flybrick ha de tenir a la part inferior un forat per a poder passar el cablejat. Per aquest motiu, es generen al model CAD dues ranures per a passar cablejat, una per a passar el cable positiu i una pel negatiu. Tal i com es mostra a la Figura 5.5.

## Secció 5: Disseny Elèctric

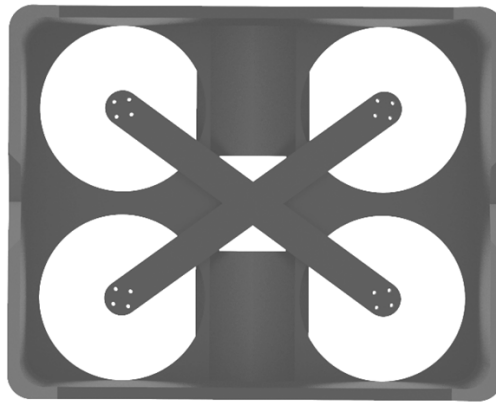
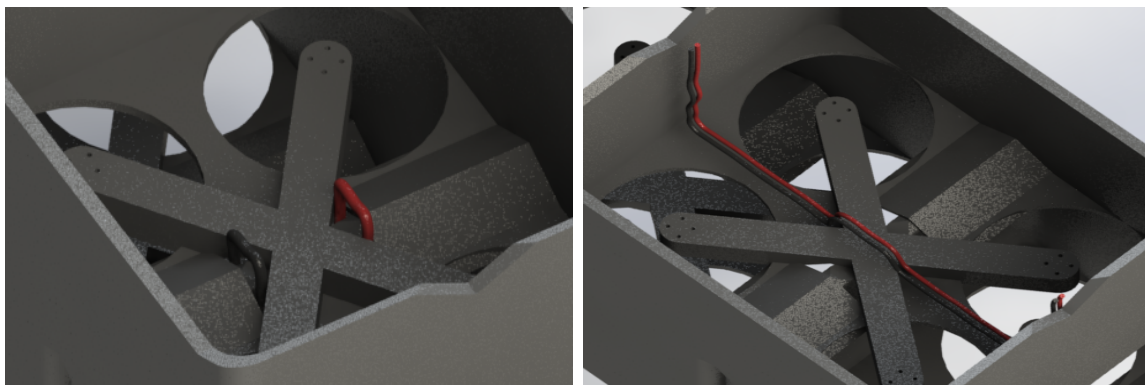


Figura 5.5: Planta del Flybrick per a la observació dels orificis per al cablejat

La metodologia de pas dels cables de cada tipus de Flybrick es mostra a la Figura 5.6. Un Flybrick Superior sempre ha de tenir connexió amb un Flybrick Inferior a sota seu.



(a) Flybrick superior.

(b) Flybrick inferior.

Figura 5.6: Configuració elèctrica dels dos Flybricks

### 5.3 Connexió de cables

En aquest apartat es considera la connexió dels cables de corrent d'un Flybrick amb els dels altres.

Cal tenir en compte que durant el desplaçament del Flybrick no hi haurà cap connexió de corrent feta i, un cop quedi ancorat, haurà de quedar connectat al circuit de càrrega de Flybricks. Per aquest motiu s'ha de dissenyar un sistema de cablejat que permeti l'acoblament i el desacoblament del circuit. És un circuit que es separa en diferents peces, quan dues files de Flybricks estan instal·lades, comença la càrrega.



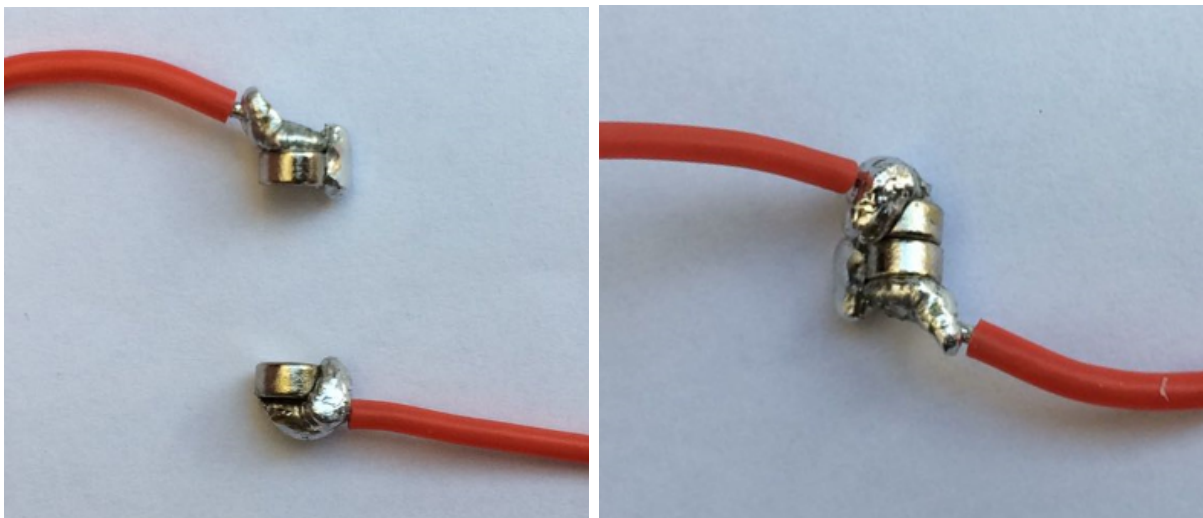
## Secció 5: Disseny Elèctric

Per tal de dissenyar aquesta connexió per trams, l'entroncament o *empalme* de cables no ha de ser fix, sinó que ha de permetre el contacte i la separació del circuit amb facilitat.

Una possible solució a la connexió és l'ús d'imans, que uneixin els cables i tanquin el circuit. Cal veure doncs, si existeix algun iman bon conductor de l'electricitat. Fent recerca es troba que existeixen uns imans anomenats "imans de terres rares", que sí que són conductors de l'electricitat.

Així doncs, es defineixien els imans com a metodologia de connexió entre cables. Cada Flybrick tindrà quatre imans, un per entrada i sortida de corrent del cable positiu, i un per entrada i sortida del cable negatiu.

A la Figura 5.7 es mostra la connexió entre el pol positiu d'un Flybrick amb el pol positiu d'un altre Flybrick. L'atracció dels imans farà que s'uneixin, fent que la soldadura d'estany faci contacte, l'estany és conductor també, per tant, l'electricitat circularà entre ambdós Flybricks, carregant d'aquesta manera les seves bateries.



(a) Imans abans de la connexió.

(b) Imans connectats.

Figura 5.7: Contacte de les soldadures d'estany, conductor de l'electricitat.

Els imans tenen una força magnètica de pocs grams, motiu pel que en el moment de desanclament dels Flybricks, amb el simple desplaçament d'un dels Flybricks ja es desacoblaran els cables. De la mateixa manera, durant el moment d'anclament, l'iman atraurà els cables de cada Flybrick, provocant la connexió.



## 6 Disseny Electrònic

Aquesta secció té com a objectiu definir els sistemes electrònics del Flybrick: la controladora de vol, els variadors, el receptor de dades i la placa intel·ligent de gestió de comandes. Per tal de seleccionar adequadament els sistemes es presenten els estudis de selecció que s'han dut a terme.

### 6.1 Comunicació

Una tasca imprescindible per a la funció i operació del Flybrick és la d'establir connexió amb el punt de control o ordinador central. Cal doncs, escollir els components electrònics per a realitzar les tasques de comunicació i transmissió de dades, per aquest motiu es realitza un estudi previ dels diferents sistemes, així com també del funcionaments dels protocols d'emissió i transmissió radiocontrol i altres mètodes de transmissió de dades com senyals de ràdio, o connexions wifi i bluetooth.

#### 6.1.1 Radiocontrol

La comunicació mitjançant radiocontrol es realitza en dos passos, en els que són necessaris uns protocols i unes característiques de comunicació concretes:

- **Protocols RX:** Estableixen els paràmetres de comunicació entre la placa controladora o FC i el receptor de senyals.
- **Protocols TX:** Estableixen els paràmetres de comunicació entre l'emissor de ràdio o radiotransmissor i el receptor de senyals

A la Figura 6.1 es pot veure un senzill esquema del mètode de comunicació estàndard per a drones. Un comandament radiocontrol emet una senyal, aquesta senyal és captada per un receptor ubicat a l'UAV que la transmet a la placa controladora mitjançant cablejat.

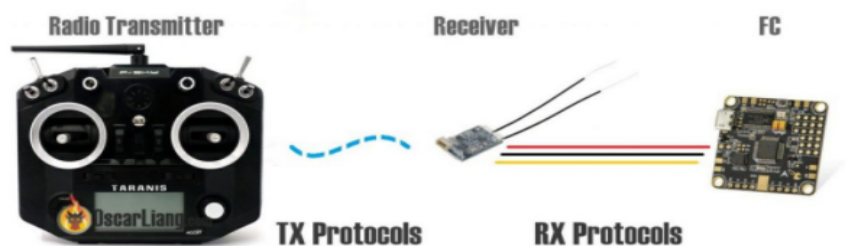


Figura 6.1: Protocols de comunicació

[21]

## Secció 6: Disseny Electrònic

---

El mètode explicat anteriorment és el més utilitzat en aviació i drones radiocontrol, no obstant, per al present projecte, l'opció de control manual del Flybrick queda descartada per la seva no-viabilitat en el cas de la construcció d'una Flywall amb, per exemple, 300 Flybricks. És per això que cal trobar una manera de controlar els vehicles mitjançant un *software* des d'un ordinador central, que gestioni els vehicles i envii les comandes de manera adequada.

Per al funcionament del Flybrick, és imprescindible tenir un sistema de comunicació entre el vehicle i l'emissor o punt de control de tots els Flybricks, és per això que es selecciona d'entre les diferents possibilitats un sistema de comunicació que accepti diferents canals. És a dir, cada Flybrick portarà una placa receptora o de wifi o de senyal de ràdio segons el mètode finalment escollit.

A continuació es presenten les diferents possibilitats a l'hora d'establir comunicacions des d'un ordinador o punt de control i un eixam de drones.

### 6.1.2 Bluetooth

Aquesta seria una bona opció de connexió, ja que s'estableix de manera bidireccional entre els dispositius connectats, no obstant, és una tasca complicada la de connectar un sol dispositiu a molts altres, la connexió màxima estàndard trobada a fòrums d'informàtica són 7 dispositius, xifra insuficient per al present projecte. També caldria programar des de zero el sistema de connexió del Flybrick. Per altra banda obtenir múltiples connexions és una tasca que no és molt habitual i costa trobar bibliografia. Pels motius expressats es descarta la connexió Bluetooth.

### 6.1.3 Mètode *Ad-hoc* de radiofreqüència

S'ha ideat una proposta de funcionament mitjançant radiofreqüència, s'exposa a continuació.

Es genera un codi des d'una placa arduino i, mitjançant un sol emissor, s'emeten missatges. Cada Flybrick té el seu sistema de recepció, per tant tots els Flybricks reben tots els missatges. No obstant, cada Flybrick porta un arduino incorporat que el que fa és detectar si el missatge va per ell o no.

Un mètode de codificació seria l'enviament d'un número. Es presenta un exemple per a més claredat:

## Secció 6: Disseny Electrònic

Els tres primers dígitns indiquen per a quin Flybrick va el missatge, els dos centrals la comanda a modificar i els tres últims el grau de modificació de la comanda. Veure Taula 6.1.

Tres primers dígitns		Dos dígitns centrals		Tres últims dígitns	
001	Flybrick 1	01	Ascendir	015	Ascendir 15 cm
002	Flybrick 2	02	Descendir	024	Descendir 24 cm
003	Flybrick 3	03	Modificar Roll	045	Roll +45°
004	Flybrick 4	04	Avançar eix x	015	Avançar 15 cm
...	...	...	...	...	...
...	Flybrick n	...	Comanda n	...	Grau de comanda

Taula 6.1: Exemplificació codi per a comunicació via ràdio.

Si el missatge fos 01802038, tots els Flybricks comprovarien els tres primers dígitns 018, i tots descartarien la comanda exceptuant el Flybrick número 18, que continuaria llegint els dígitns 02, interpretaria que ha de descendir i amb els últims tres dígitns 038, descendiria 38 cm.

Un inconvenient d'aquest mètode és que la comunicació entre l'ordinador i el Flybrick és en una sola direcció, veure Figura 6.2. Aquest sistema és relativament senzill d'implementar i no limita la quantitat de Flybricks que es vulguin coordinar, no obstant, la dificultat resideix en la programació del codi de moviment i col·locació de la Flywall des de l'ordinador central.

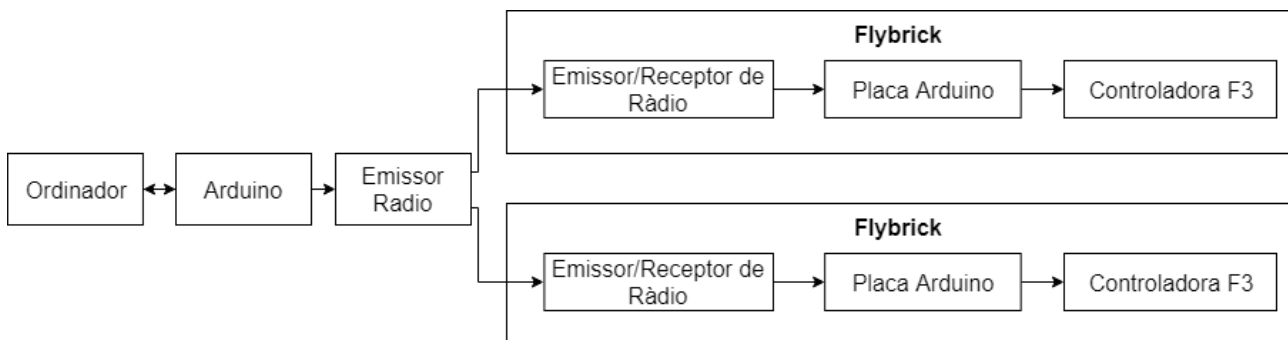


Figura 6.2: Esquema de comunicació mitjançant ones de ràdio

### 6.1.4 Connexió Wifi

El que permet la connexió mitjançant wifi és tenir un canal de comunicació entre el vehicle i l'emissor. En contraposició amb l'emissió d'ones de ràdio no requereix d'arduino emissor, ja que la senyal s'emet a través de l'ordinador passant per un router extern de connexió wifi. Aquest mètode, però, presenta una sèrie d'inconvenients:

- La connexió es degrada com més dispositius estan connectats.

## Secció 6: Disseny Electrònic

- Un nombre elevat de dispositius operant en proximitat genera interferències que també degraden la connexió.

Tot i els inconvenients mostrats, la connexió wifi té un avantatge molt important respecte a l'emissió de ràdio, aquest és que el drone pot emetre resposta quan rep una comanda, ja que la comunicació s'estableix de manera bidireccional. Per altra banda, tenint en compte que les dades que s'han d'enviar mitjançant wifi no són molt pesades, la connexió no es deteriora en gran mesura.

Pels motius expressats es selecciona la connexió wifi com a metodologia de comunicació del Flybrick. Es presenta a la Figura 6.3 la connexió esquemàticament.

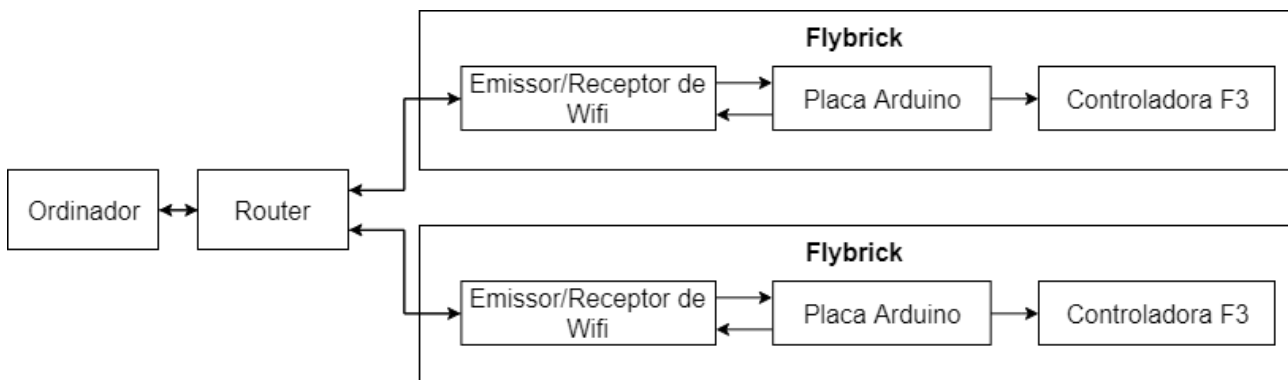


Figura 6.3: Esquema de comunicació mitjançant wifi

Ara doncs, cal veure el nombre de dispositius que permet una connexió wifi simultàniament. Els routers tradicionals permeten la connexió de 255 dispositius de manera simultània. Aquesta xifra permetria la construcció d'una paret d'aproximadament  $2000 \times 2000 \text{ mm}^2$ . Motiu pel que és necessari ampliar-la.

Si es considera un router amb una connexió de 500 Mbps<sup>7</sup>, a l'hora de connectar 250 dispositius, arriba a cada dispositiu una velocitat teòrica de

$$\frac{500}{250} = 2 \text{ Mbps.}$$

Aquesta és una velocitat de transmissió de dades suficient si es té en compte la càrrega de dades necessària pel Flybrick. La majoria de xarxes wifi permeten l'augment del nombre de clients connectats a la xarxa, per aquests motius una xarxa estàndard hauria de funcionar. Consultar l'*Annex I* per a més informació.

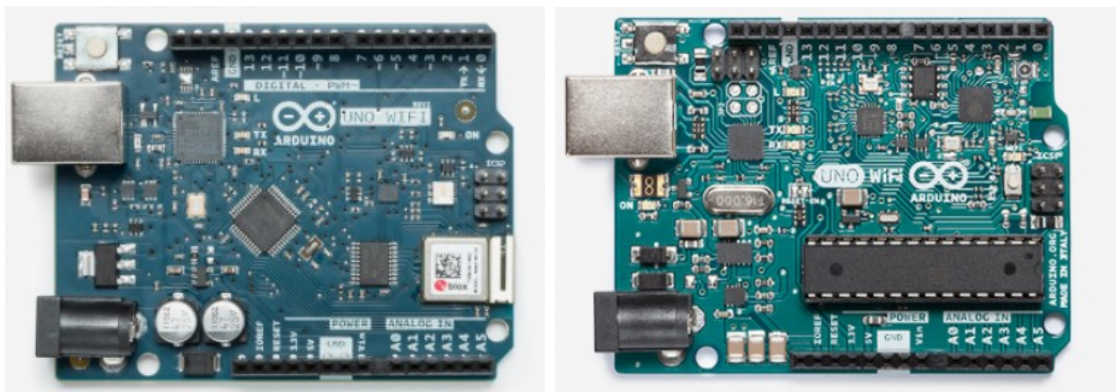
<sup>7</sup>MegaBytes per segon

## Secció 6: Disseny Electrònic

La manera de transmetre les comandes des de l'ordinador a cada Flybrick pot ser utilitzant un codi de xifres com el mostrat a la Taula 6.1. Amb tot, la connexió wifi permet gran varietat de transmissió de dades, així que també es podrien enviar fitxers.

### 6.1.5 Arduino de bord i receptor de wifi

Per tal de fer arribar la informació al Flybrick des de l'ordinador central cal tenir un receptor de wifi. Les plaques Arduino tenen compatibilitat amb diferents receptors, la majoria d'ells externs, però també existeixen plaques arduino que porten incorporat el receptor de wifi. Aquest és el cas de les plaques Arduino Uno Wifi i Arduino Uno Wifi Rev2, mostrades a la Figura 6.4. El fet de tenir el mètode d'emissió i recepció de wifi incorporat estalvia la connexió entre el receptor i la placa, simplificant l'acoplament i muntatge del sistema.



(a) Placa Arduino Uno Wifi Rev2

(b) Placa Arduino Uno Wifi

Figura 6.4: Plaques Arduino Uno amb wifi incorporat

La placa Arduino Uno Wifi no duu incorporat cap IMU<sup>8</sup> i actualment ja no es pot comprar de manera oficial, ja que està descatalogada; no obstant, arduino està en vies de treure una nova versió més moderna, la placa Arduino Uno Wifi REV2. Aquesta nova placa sí que portarà IMU, aquest fet permet, doncs, obtenir dades sobre el vol del Flybrick en el seu moviment de posicionament i anclament.

Així doncs, la placa Arduino Uno es defineix com a centre de recepció, planificació de trajectòria i traducció de comandes per al Flybrick.

Un cop definits els components per a realitzar la connexió wifi, cal procedir d'una manera determinada per a aconseguir les connexions entre dispositius. Abans de procedir a realitzar la

<sup>8</sup>IMU: Inertial Measurement Unit

## Secció 6: Disseny Electrònic

---

connexió, però, cal actualitzar el *firmware* de la placa, el procediment està explicat amb detall a l'*Annex II*.

### *Procediment de connexió:*

Per tal de connectar la placa amb l'ordinador central, ambdós dispositius han d'estar connectats a la mateixa xarxa wifi. Per a fer-ho, es segueixen els següents passos:

- Suministrar corrent del voltatge especificat a la placa (5V).
- Des de l'ordinador, cercar una xarxa wifi que genera la placa arduino.
- Connectar l'ordinador a la xarxa.
- Des de la plataforma de la placa, connectar la placa arduino a la xarxa wifi amb la que es vol obtenir la connexió.
- Connectar l'ordinador a la mateixa xarxa que la placa
- Cercar la IP a la que està connectada la placa a qualsevol navegador

Una altra manera més ràpida de connectar la placa arduino a una xarxa wifi és compilant un codi des de la plataforma arduino d'escriptori o des de la versió online. Especificant la xarxa wifi i la seva contrassenya, la placa ja es connecta sola. El codi i informació més extensa es presenta a l'*Annex II*.

### 6.1.6 Comunicació Arduino-Controladora

Perquè la placa controladora pugui realitzar les comandes de l'emissor, cal entrar les dades a la controladora en un format que aquesta pugui executar, fent recerca sobre protocols en el format de la placa controladora F3, es troben el SBUS (entrada digital) o el PWM (entrada analògica). La placa arduino, doncs, té també la funció de traduir la comanda rebuda des de l'ordinador central al format que la placa controladora pugui processar.

### *Protocol SBUS*

El protocol SBUS és un protocol de transmissió digital molt ràpid, es pateixen *delays* de només 10ms-20ms. Aquesta connexió, a més, permet l'estalvi de cablejat, ja que per un sol cable pot passar més d'un canal. La placa Arduino Uno té 22 pins que es poden utilitzar com a sortides digitals, motiu pel que el sistema és viable.

## Secció 6: Disseny Electrònic

En cas d'utilitzar aquesta metodologia, és imprescindible l'ús d'un inversor, ja que el llenguatge SBUS està invertit en *hardware*; amb el senzill circuit que s'observa a la Figura 6.5 s'obté la funció d'invertir la senyal.

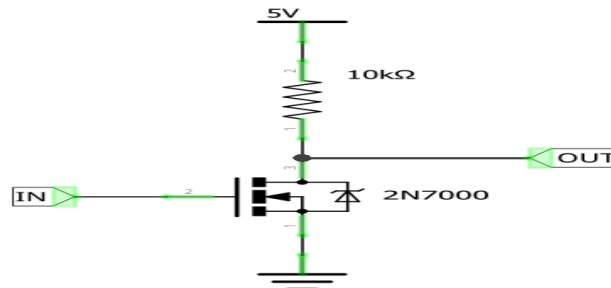


Figura 6.5: Esquema de l'inverter

Per tal d'enviar les comandes en el protocol SBUS que la placa pugui processar, cal incorporar un codi a la placa arduino. Un codi per a generar Sbus mitjançant una placa arduino s'adjunta a l'*Annex III*.

### Protocol PWM

En contraposició amb SBUS, el PWM és un mètode analògic de transmissió, pateix *delays* majors, d'entre 60ms-80ms, no obstant, també permet fer l'enviament d'informació de la placa arduino a la controladora. La placa Arduino Uno és una placa basada en ATmega328P, aquesta placa permet emetre polsos amb una freqüència de 490 Hz des dels pins 3,5,6,9,10 i 11. El que permet fer la placa és graduar el temps que el pols està actiu (*Duty Cycle*) mitjançant la comanda `analogWrite()`.

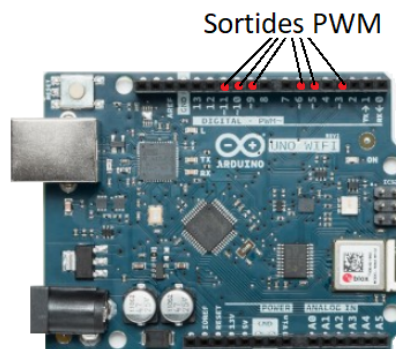


Figura 6.6: Esquema de connexió de la controladora

[12]

Mitjançant aquests pols, en funció de l'entrada de la controladora per on arribin i de la seva freqüència, es poden comunicar les comandes a la controladora.



## 6.2 Localització

Actualment existeixen diferents sistemes de localització al mercat. No obstant, cal observar si són adients per al Flybrick i s'adapten a les seves necessitats. A continuació es presenten diferents alternatives:

### 6.2.1 Global Positioning System

El Global Positioning System o GPS és un sistema de posicionament global, el seu funcionament és simple d'entendre. Si es vol conèixer la localització mitjançant un sistema GPS, l'única cosa que cal fer és instal·lar un receptor de GPS al dispositiu a ubicar. El que fa aquest receptor és obtenir la ubicació de diferents satèl·lits i, mitjançant resolució d'equacions o triangulació, pot saber la ubicació amb una desviació d'uns 5 metres, empitjorant a les rodalies d'edificis, ponts i d'altres.

El Flybrick però, requereix d'una precisió mínima de pocs centímetres, i està dissenyat per a operar a l'interior d'edificis, és per aquests motius que es descarta la localització del sistema mitjançant xarxa GPS.

### 6.2.2 Motion Capture System

El Motion Capture System o Sistema de Captura de Moviment és un sistema que utilitza la coordinació de diferents càmeres per a localitzar i detectar el moviment d'objectes. Per tal de fer funcionar el sistema amb precisió cal ubicar i calibrar les càmeres amb molta cura. Les càmeres localitzen un o més punts programats d'un objecte, i mitjançant triangulació s'obté la ubicació amb una precisió altíssima. En aquest cas, la precisió només està limitada per la qualitat de l'equip de captura de moviment seleccionat, un equip òptim arriba a precisions inferiors al mil·límetre.

En el cas de drones, usualment es localitzen tres punts del vehicle mitjançant les càmeres, d'aquesta manera s'obté la posició  $(x, y, z)$  i l'actitud o orientació del drone  $(\phi, \theta, \psi)$ .

Així doncs, el Motion Capture System és un sistema adequat per a la construcció de la Flywall, no obstant el cost d'un sistema amb una precisió d'aproximadament un centímetre ronda els 50,000 €. Motiu pel que no es contempla la implementació del sistema en el transcurs d'aquest projecte.

L'equip de captura s'ha de connectar al bucle de control del vehicle aeri per tal d'anar



## Secció 6: Disseny Electrònic

---

actualitzant les dades. Per tal de fer-ho s'ha de connectar a la mateixa xarxa wifi amb la que es comuniquen l'ordinador i els Flybricks. D'aquesta manera es té un nucli central de sortida de comandes, un nucli de presa i transmissió de posició i actitud i tots els Flybricks. Explicació detallada a la secció 7 *Disseny de Control*.

### 6.3 Estabilitat de vol

Una altra tasca de pes a realitzar pels sistemes electrònics del Flybrick és la de mantenir l'estabilitat del vehicle durant el vol i moviment. Hi estan involucrats tant la placa controladora com els variadors electrònics.

#### 6.3.1 Controladora de vol

Per tal de mantenir l'estabilitat de vol cal que hi hagi una placa central que coordini la lectura repetida dels sensors o IMU i actuï en conseqüència, compensant els moviments i mantenint la potència per a restar en vol.

D'aquesta tasca se n'encarrega la controladora de vol. D'entre les principals alternatives de controladores mostrades a la secció 3 *Disseny Conceptual*, la que reuneix tots els requeriments i alhora té el pes menor és la controladora F3. S'escull d'entre les diferents marques la EMAX F3 Femto Brushless. Aquesta controladora arduino porta incorporats giroscopis i acceleròmetres i ja ve programada. Mitjançant un software extern es poden configurar certs paràmetres i calibrar sistemes.

La tasca principal de la placa és la de dur a terme les comandes provinents de la placa arduino. La placa rep la comanda, per exemple, d'ascendir i el grau amb el que ho ha de fer, i regula les velocitats de gir de cada rotor per a dur-la a terme. A la Figura 6.7 es pot veure la controladora en qüestió.

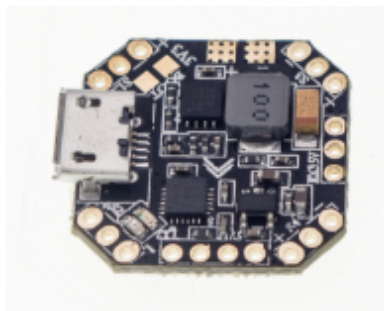


Figura 6.7: Controladora EMAX F3 Femto Brushless

[5]

## Secció 6: Disseny Electrònic

### 6.3.2 ESC o variadors

Tenint en compte que l'operació normal dels motors és a aproximadament 6 A i la intensitat màxima és d'uns 8 A, s'obté que una alternativa de variador per al Flybrick és el model: EMAX D-SHOT Bullet Series de 12A. Es selecciona aquest model, en part, perquè és de la mateixa marca que els motors, i es garanteix d'aquesta manera absoluta compatibilitat. Veure Figura 6.8.



Figura 6.8: Controlador de velocitat EMAX

[4]

El funcionament d'un variador electrònic és també per PWM. L'ESC té tres cables de sortida pels que emet corrent seguint uns períodes determinats molt ràpids i que han d'estar molt ben sincronitzats. Si només es connecten dos dels tres cables, el motor funciona de manera erràtica. Els cables emeten corrent que es dirigeix a les bobines de dins el motor brushless, generant camp magnètic i, en conseqüència, moviment. Amb una bona sincronització es fa girar el motor a altíssimes rpm.

## 7 Disseny de Control

En aquesta secció es detalla el funcionament dels sistemes de control constituïts pels components electrònics exposats a la secció 6 *Disseny Electrònic*.

### 7.1 Sistemes de referència

Per a entendre millor el funcionament del Flybrick és necessari fer una contextualització de com ubicar un vehicle a l'espai, quins eixos i angles s'utilitzen i respecte on es prenen les referències. A l'hora de definir l'orientació d'un quadrotor es pot fer seguint dos criteris:



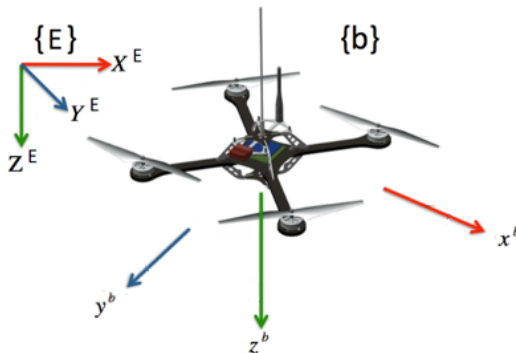
(a) Quadrotor en I.



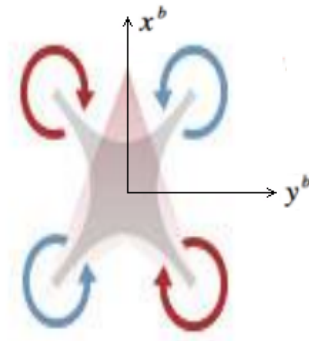
(b) Quadrotor en X.

Figura 7.1: Configuracions típiques de Quadrotors [1]

Per motius de geometria es descarta la configuració en I, ja que el Flybrick no té els motors a 90 graus. Així doncs, s'escull la configuració en X. Per tal de descriure el moviment d'un quadrotor en X es defineixen dos eixos de referència. Per una banda es defineix el sistema de referència inercial terra (Earth Inertial Frame o E-frame) i per l'altra el sistema de referència fix al cos (Body Fixed Frame o b-frame), mostrat a la Figura 7.2.



(a) Sistemes de referència del vehicle aeri.[9]



(b) Configuració en X

Figura 7.2: Esquema en perspectiva i en planta per a definir els sistemes de referència.

## Secció 7: Disseny de Control

Aquests dos sistemes de referència defineixen diferents variables que s'expliquen a continuació.

El Quadrotor és un sistema amb sis graus de llibertat per tal d'expressar la seva posició i orientació a l'espai. Es defineix per una part la seva posició ( $X^E, Y^E, Z^E$ ) respecte el sistema de referència fix i per l'altra la seva actitud mitjançant els angles d'Euler ( $\phi, \theta, \psi$ ), que són els moviments de roll, pitch i yaw respectivament. Els angles d'Euler són els que defineixen l'orientació del vehicle respecte el sistema de referència fix.

- Roll ( $\phi$ ): Angle entre els eixos  $x^b$  i  $X^E$ .
- Pitch ( $\theta$ ): Angle entre els eixos  $y^b$  i  $Y^E$ .
- Yaw ( $\psi$ ): Angle entre els eixos  $z^b$  i  $Z^E$ .

Així doncs, cal diferenciar clarament entre la posició del vehicle ( $X^E, Y^E, Z^E$ ) i l'actitud del vehicle ( $\phi, \theta, \psi$ ).

### 7.2 Control de posició i actitud

Un cop ja es té una concepció dels sistemes de referència utilitzats per a drones es pot procedir a fer un estudi dels sistemes de control més comuns.

Habitualment els drones tenen una placa controladora i un receptor de radiocontrol. D'aquesta manera s'aconsegueix controlar el vehicle manualment des d'un comandament. A la Figura 7.3 es pot veure esquematitzat el funcionament.

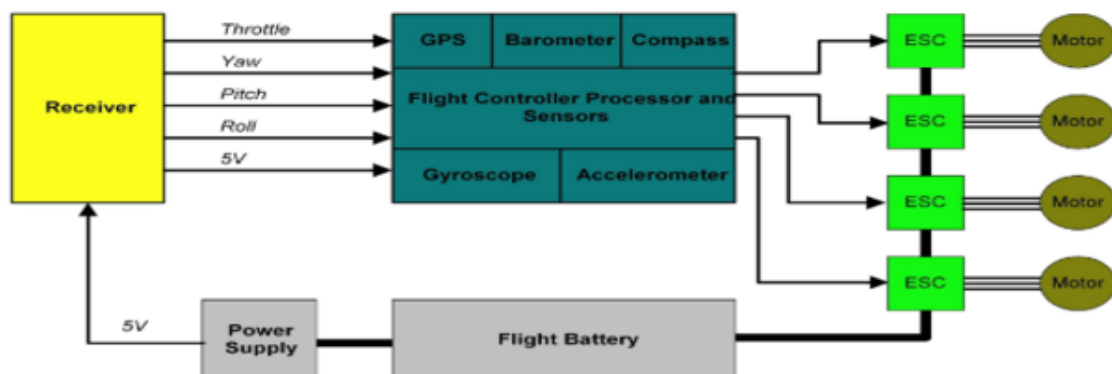


Figura 7.3: Esquema de control d'un drone.

[7]

## Secció 7: Disseny de Control

---

No obstant, aquest projecte s'allunya de les configuracions típiques de control de drones, ja que les comandes no es duen a terme des d'un comandament. Un fet distintiu, a més, és que el Flybrick porta incorporades dues unitats "intel·ligents", la controladora F3 i la placa arduino. El disseny està pensat així per a separar el funcionament de dues parts molt importants del vehicle, per una banda mantenir l'estabilitat del Flybrick i per l'altra actualitzar la informació i comunicar-se amb l'ordinador central.

El control de l'estabilitat el duu a terme la placa controladora F3, que porta incorporats giroscopi i acceleròmetre per tal de corregir la seva actitud constantment. Per una altra banda, la placa arduino de bord, s'encarrega de l'actualització de la posició del vehicle mitjançant la comunicació tant amb l'ordinador central com amb el sistema de detecció de moviment i de calcular la trajectòria a seguir.

L'ordinador enviarà a la placa arduino la posició final a la que ha d'anar el Flybrick  $(X_f^E, Y_f^E, Z_f^E)$  i el yaw necessari per a l'acoblament. A la vegada, l'equip de captura de moviment enviarà la posició  $(X^E, Y^E, Z^E)$  del vehicle. La placa arduino farà un càlcul de distància fins la posició final i, mitjançant algorismes de seguiment de trajectòria, calcularà la ruta a seguir fins a la posició d'acoblament. Posteriorment transmetrà les comandes a la placa F3, que modificarà les velocitats de vol en la mesura exacta.

Així doncs, els llaços de control d'aquest vehicle aeri es distancien de les configuracions típiques de drones. Per tal d'entendre millor el funcionament del Flybrick, es fa una petita contextualització de llaços de control de vehicles aeris autònoms:

### 7.3 Llaços de Control

Quan es parla de vehicles aeris autònoms, es defineixen dos llaços de control, el llaç intern i l'extern. El llaç intern s'encarrega de l'actualització de l'actitud, i el llaç extern s'encarrega de l'actualització de la posició. La velocitat d'actualització del llaç intern ha de ser major a la de l'extern, de manera que el llaç intern detecti la posició del drone com una constant fixa.

S'expliquen a continuació els llaços del Flybrick:

- **Llaç intern:** Té lloc a la placa controladora, que va actualitzant la informació que rep dels IMU o sensors que porta incorporats, i regula l'actitud del vehicle. Cal fer una bona calibració dels sensors, mitjançant els *softwares* Cleanflight i Betaflight aquesta es pot dur a terme.

## Secció 7: Disseny de Control

Les plaques controladores actualitzen aproximadament a una freqüència d'entre 1 kHz i 8 kHz. No obstant, les freqüències més elevades estan pensades per a drones d'acrobàcia, pel Flybrick una freqüència de 1 kHz ja ha de ser suficient.

- **Llaç extern:** Aquest llaç requereix de l'establiment de connexió de diferents components. El sistema de captura de moviment envia la posició del Flybrick, la placa arduino la rep a través de wifi, recalcula la trajectòria i transmet les comandes a la placa controladora, que regula la velocitat dels motors i regula l'actitud per a mantenir-se estable.

La freqüència d'actualització del llaç de posició pot ser baixa per motiu de la poca velocitat de moviment del Flybrick. Una freqüència d'aproximadament 10 Hz, actualització de dades cada 0.1 s, hauria de ser suficient.

Es presenta la Figura 7.4 a mode d'esquema conceptual.

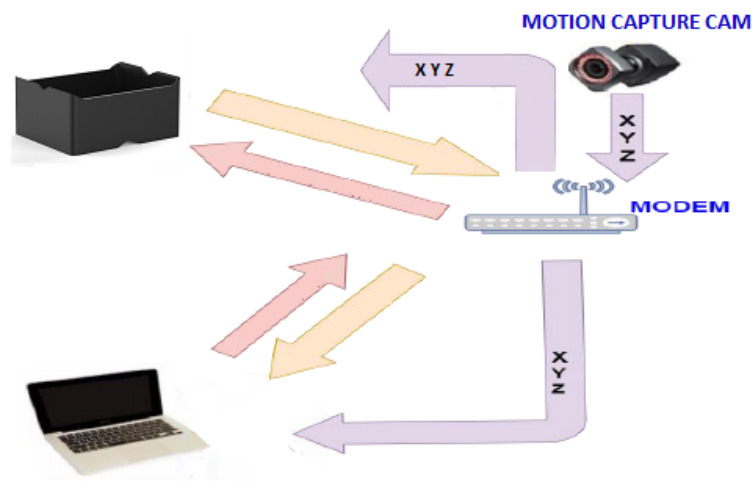


Figura 7.4: Esquema de control del Flybrick.

[25]

Així doncs, un cop la placa arduino adquireix la posició del Flybrick amb precisió i coneix la posició final, utilitza algorismes de trajectòria o *Path Following Algorithms* i es dirigeix cap al punt final desitjat. A la Figura 7.5 es presenta el llaç de control del Flybrick.

## Secció 7: Disseny de Control

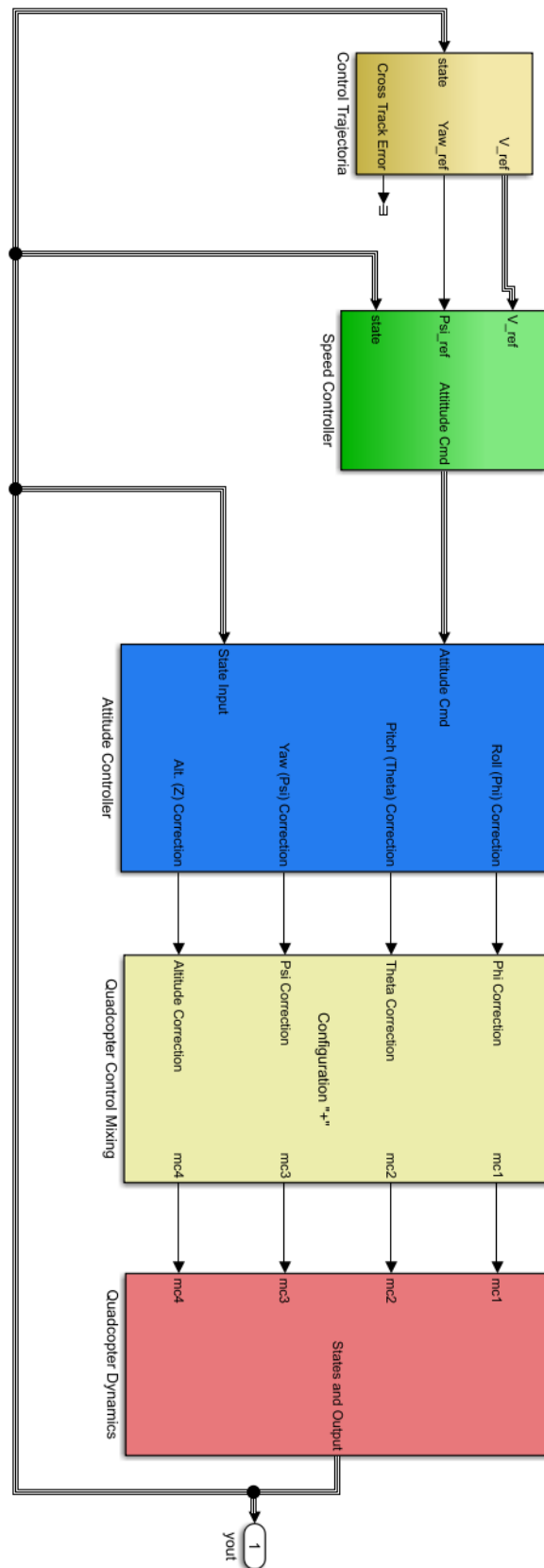


Figura 7.5: Llaç de control del Flybrick.

[3]

## 7.4 Algoritmes de trajectòria

Un cop estan definits els llaços de control i la manera de controlar la posició i actitud del vehicle, cal fer una petita introducció als algoritmes de planificació de trajectòria. Ja que el moviment dels UAV a l'espai està subjecte a petites pertorbacions i desplaçaments no contemplats.

Els *Path Following Algorithms* calculen la manera d'aproximar-se a un punt final mitjançant diferents estratègies. Els mètodes més comuns són l'aproximació en línia recta o mitjançant un arc de circumferència. En aquests dos mètodes es poden aplicar diferents algoritmes [26]:

- Carrot Chasing Algorithm
- NonLinear Guidance Law (NLGL)
- Pure Pursuit and LOS-based path following (PLOS)
- Vector Field Algorithm
- LQR

Els diferents algoritmes es presenten a l'*Annex IV*.



## 8 Construcció

En aquesta secció es presenta el procediment de construcció del vehicle aeri. Detallant els processos de brocat, soldadura i distribució de components.

### 8.1 Components

A l'*Annex V* del present document es presenten fotografies de tots els components del Flybrick. A l'*Annex VI* es presenten els renderitzats finals de tots els components del Flybrick.

### 8.2 Procediment d'ensamblatge

#### 8.2.1 Anclament de motors

Els motors brushless del Flybrick requereixen de cargols de mètrica dos per a la seva fixació. La mètrica dos no es troba a les ferreteries, cal recórrer a botigues de venda de components electrònics. La longitud que han de tenir els cargols per a la fixació al xassís del Flybrick és d'aproximadament 15mm, ja que la profunditat de la peça és de 13mm. Així doncs, s'adquireixen cargols de M2 i 16 mm per tal de realitzar la fixació.

Per tal de no malmetre el xassís del Flybrick en cas d'un procediment erroni en la fixació, es prova la metodologia en una peça impresa parcialment.



Figura 8.1: Peça de prova de la fixació del Flybrick.

Mitjançant l'escalfament amb foc d'un punxó prim i després d'un cargol, es procedeix a ampliar els forats passants fins la mida exacta del cargol. Posteriorment, es procedeix a la inserció de la peça roscada per l'interior, veure Apartat 4.2 *Motors*.

## Secció 8: Construcció

Amb tot, la inserció del cargol és poc precisa, ja que la calor fon el PLA i es perd ortogonalitat, per aquest motiu es canvia el procediment.

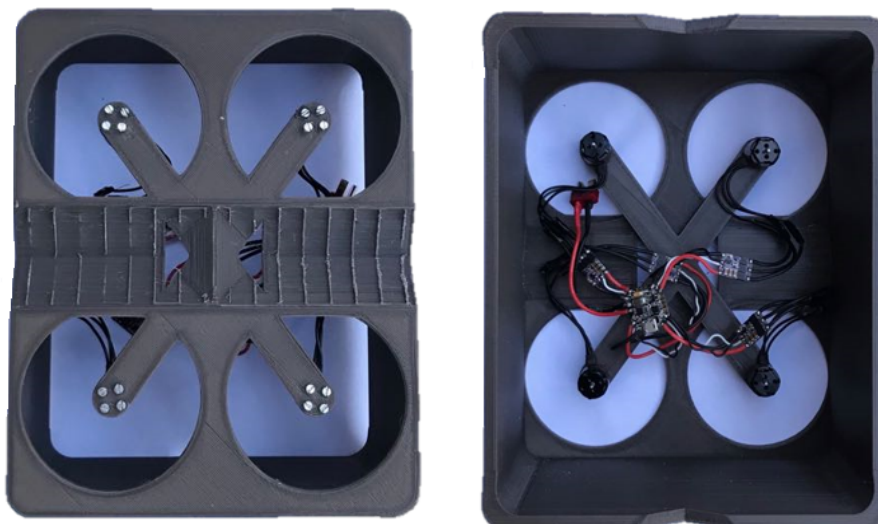
El següent que es prova és l'ús d'un trepant per a ampliar els orificis, no obstant, el cargol costa de girar dins del PLA, i augmentar l'orifici mitjançant aquest procediment implica perill de trencar la peça.

Així doncs, es procedeix a foradar mitjançant una broca de mà com la mostrada a la Figura 8.2 que permet ampliar els forats amb més cura sense malmetre el PLA.



Figura 8.2: Broca de mà utilitzada per a ampliar els forats d'ancament.

Posteriorment al treball amb la broca de mà, el cargol entra amb suavitat i sense desviacions als orificis. Per aquest motiu, es considera el resultat de les proves com a satisfactori, així que es procedeix a realitzar la inserció de les peces roscades al xassís final del Flybrick. Un cop les peces roscades estan incorporades s'afegeixen els cargols i es prova de fixar els motors. El resultat és el mostrat a la Figura 8.7.



(a) Peça final cargolada.

(b) Cargols situats.

Figura 8.3: Resultat de la instal·lació dels cargols.

## Secció 8: Construcció

### 8.2.2 Treball de soldadura

Per tal de connectar els diferents components del Flybrick és necessària la unió de cables mitjançant soldadura. L'esquema de connexió a seguir és el següent:

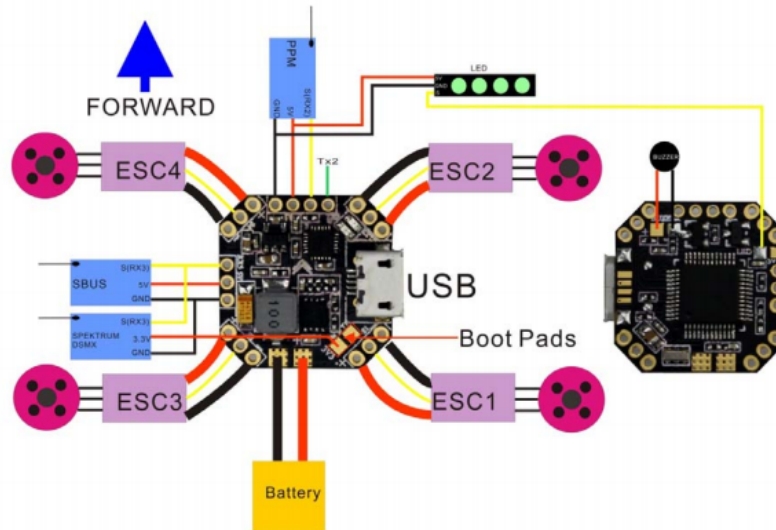


Figura 8.4: Esquema de connexió de la controladora, planta i vista inferior de la placa.

[12]

Tal i com es pot veure a la Figura 8.4, la placa controladora té tres punts de contacte per motor, un pol positiu i un negatiu de corrent, i un connector de senyal, no obstant, el variador té quatre punts de contacte, positiu i negatiu de corrent, i positiu i negatiu de senyal. És per això que cal unir el negatiu de senyal i el negatiu de corrent del variador al mateix pin negatiu de la placa.

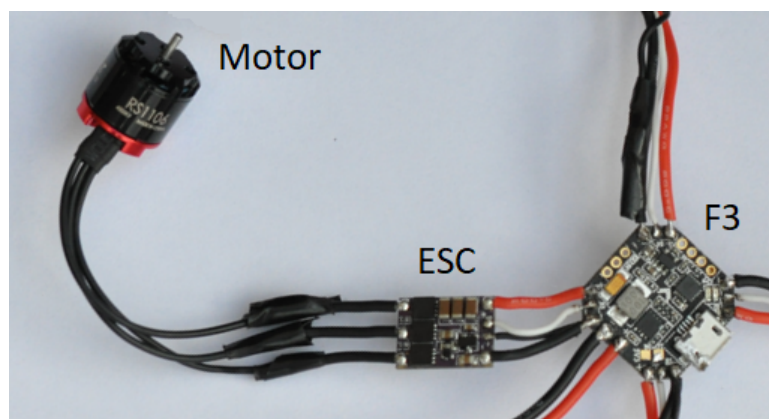


Figura 8.5: Connexió entre el motor i el variador, i entre el variador i la controladora F3.

La placa és molt petita i requereix de molta precisió, cal anar amb molta cura amb

## Secció 8: Construcció

les soldadures perquè estan situades molt a prop, i un contacte entre un pol positiu i un de negatiu pot cremar la placa o algun altre component com motors o variadors.

Per tal d'assegurar que les soldadures estan fetes correctament es comprova que no hi hagi pas de corrent entre els diferents pols de cada connexió mitjançant un téster. La revisió fa detectar algun filament de cable que fa contacte, fet que permet evitar provocar un curtcircuit a la placa.

La següent peça a soldar és l'entrada de corrent a la placa, és a dir, els cables als que anirà connectada la bateria. És prudent tenir la possibilitat de retirar la bateria del muntatge ràpidament, a part que facilita el procediment en cas que s'hagi de canviar.

Un cop la bateria i els variadors estan soldats, cal connectar els motors amb els variadors. Els motors tenen tres cables de connexió per on els variadors envien pulsos seguint unes freqüències concretes que acceleren el motor en un sentit. Si es vol fer girar el motor en el sentit contrari cal canviar dos cables de posició. Hi ha algun model de variador que connectant-lo a un ordinador permeten saber com realitzar la connexió. Aquests, no obstant, no ho permeten, motiu pel que es realitza la connexió a l'atzar i ja es revisarà el sentit posteriorment. Després, es protegeixen els cables mitjançant cinta per tal d'evitar contacte entre cables diferents.

Prèviament a donar potència a la placa, es torna a revisar amb el téster si hi ha alguna connexió errònia a la placa. Es revisen doncs 14 connexions. El resultat de la soldadura és el mostrat a la Figura 8.6.

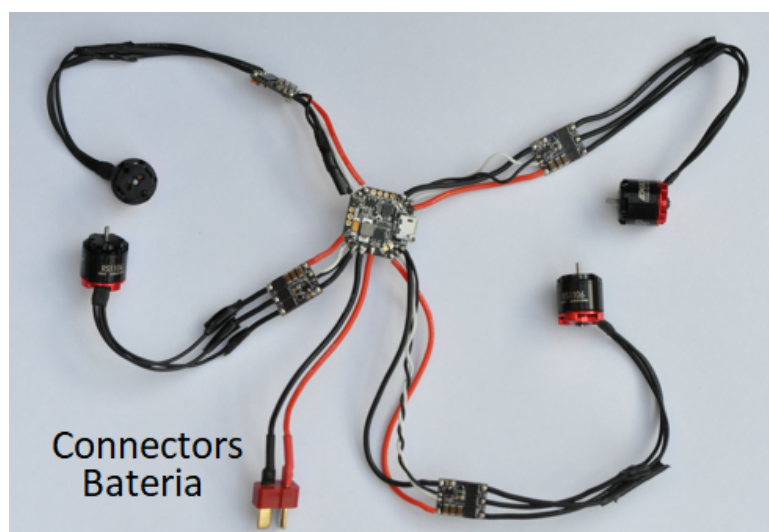


Figura 8.6: Resultat de la soldadura dels quatre motors i del cablejat de la bateria a la controladora.

## Secció 8: Construcció

Així doncs, ja està tot soldat, ara toca comprovar el funcionament del sistema.

### 8.2.3 Proves de motors

Es connecta la placa a l'ordinador, la llum LED blava de la placa s'encén. Des de l'ordinador es descarrega i s'instal·la el programa Cleanflight i s'accedeix a la configuració de la placa.

Es comprova que la placa ja porta de fàbrica un *software* instal·lat i estable, així doncs, es procedeix a fer una prova dels motors.

Per tal de provar els motors cal connectar la bateria per a donar potència. Un cop es connecta la placa emet un so que indica que tot funciona amb normalitat. Des del software Cleanflight s'activen els motors i es comprova que funcionen tots quatre.

No obstant, cal comprovar si el gir dels motors és l'adequat o no. Ja que cal que dos motors girin en sentit horari i dos en sentit antihorari. El programa fixa el gir dels motors i assigna a cada motor un número. L'assignació es pot fer perquè la placa porta una fletxa marcant la direcció que es considerarà com a davant.

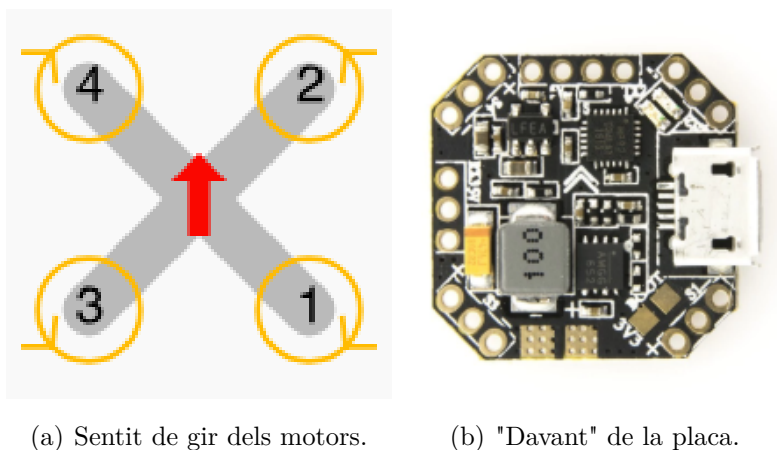


Figura 8.7: Orientació del Flybrick definida.

Així doncs, es comprova que els motors no girin en el sentit contrari al definit, tenint en compte que els motors 1 i 4 han de girar en sentit horari i els motors 2 i 3 en sentit antihorari.

Es canvien dos dels tres cables dels motors que giren en un sentit erroni, pel present cas es canvien dels motors 2 i 4, invertint d'aquesta manera el sentit de gir. Ara, doncs, ja giren tots els motors en el sentit que toca.

## Secció 8: Construcció

### 8.2.4 Configuració de Components

Un cop els motors ja funcionen en el sentit adequat, es situen a la seva posició dins del Flybrick, s'introdueix la bateria i la placa arduino.

Es fan diferents proves de la ubicació dels components, finalment es decideix la distribució mostrada a la Figura 8.8.



Figura 8.8: Distribució final de components

Un cop es té el sistema totalment configurat es pesa en una balança de precisió. S'obté una xifra de 485 g. A continuació s'adjunta el pes obtingut component a component.

*Pes del Flybrick*

<i>Part</i>	<i>Unitats</i>	<i>Pes Unitari (g)</i>	<i>Pes (g)</i>
<i>Marc o xassís amb tornilleria</i>	1	350	350
<i>Controladora, motors i variadors</i>			30
<i>Hèlixs</i>	4	1.25	5
<i>Bateria LIPO</i>	1	72	72
<i>Arduino UNO Wifi</i>	1	25	25
<i>Total</i>			482 g

Taula 8.1: Taula amb el càlcul del pes del Flybrick

Es pot observar que les xifres difereixen en petita mesura, això és degut al pes de les soldadures fetes i dels elements utilitzats en l'acoblament de les parts.



## Secció 9: Resultats

### 9 Resultats

En aquesta secció es presenta la construcció final obtinguda del Flybrick, amb tots els components integrats.

Tal i com es pot veure a la Taula 8.1 el pes final és de 485 g. Pes bastant proper a l'estimat a la secció 3 *Disseny Conceptual*. El fet d'estar per sota de 500 g és molt favorable, ja que permet operar el motor a una amperatge inferior, augmentant el temps de la bateria.

Característiques Flybrick	
<i>Característica</i>	<i>Detall</i>
Dimensions	200x160x80
Pes	485 g
Bateria	Lipo 11.1V, 850mAh
ESC	EMAX D-Shot Bullet Series 12 A
Controladora	Emax F3 Femto
Motor	Brushless RS1106 4500 KV
Placa controladora de comandes	Arduino Uno Wifi
Autonomia	2,5 min

Taula 9.1: Taula de característiques del Flybrick.

A la Figura 9.1 es pot observar una vista en perspectiva per a l'observació del vehicle aeri amb moviment autònom, el Flybrick i tots els seus components.

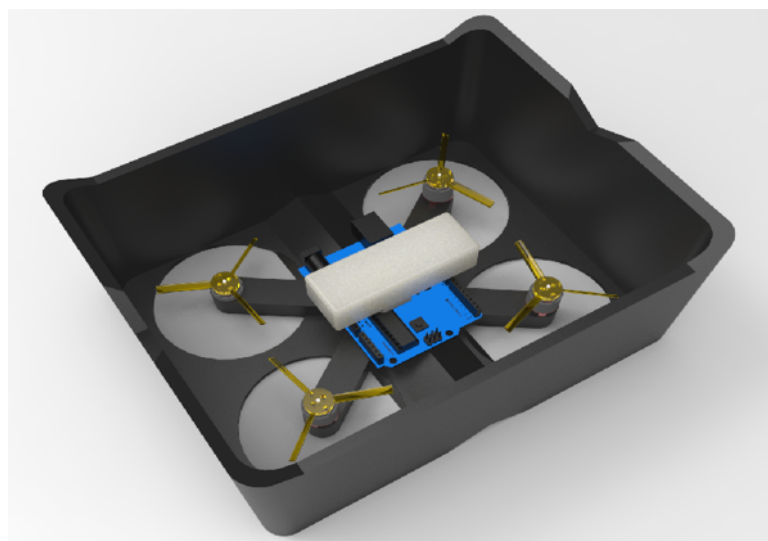


Figura 9.1: Muntatge final del Flybrick.

## Secció 10: Pressupost del projecte

# 10 Pressupost del projecte

En aquest apartat es detalla el desglossament dels costos del projecte. Pel fet de tenir una part de disseny i construcció apareixen afegits els costos materials i de fabricació als costos personals. Es pot veure el cost a la Taula 10.1.

Pressupost del Projecte				
Costos de Material				
Concepte	Observacions	Unitats	Preu unitari	Preu [€]
Marc o xassís	PLA	1	5	5
Motor Brushless	RS1106	4	14	56
Controlador Velocitat	ESC 12 A	4	10	40
Controladora	Emax F3 Femto	1	25	25
Hèlix	Triblade 2345	4	1.5	6
Bateria	Lipo 11.1V 850mAh	1	10	10
Placa Arduino	Uno Wifi	1	23	23
Cablejat				5
Costos de Fabricació				
Concepte	Observacions			Preu
Treballs de soldadura	Fil d'estany			15
Costos Personals				
Concepte	Observacions			Preu
Desplaçaments	Varis			70
Tarifa Laboral	600 h enginyer junior 20 €/h [20]			12,000
Costos energètics				
Costos elèctrics	51.9kWh a 0.120 €/kWh [6]			6.23
Total				12261.23

Taula 10.1: Desglossament del cost del projecte

Així doncs, el pressupost final de construcció del Flybrick és de 12,260 €.



## Secció 10: Pressupost del projecte

### 10.1 Estudi de viabilitat econòmica

El projecte que es presenta no té com a objectiu final ser viable econòmicament, els seus objectius són aportar noves tecnologies o propostes al sector de l'arquitectura. No obstant, es pot fer una comparativa del cost de construir una paret mitjançant Flybricks.

El cost de materials i construcció d'un Flybrick és d'aproximadament 200 €, tenint en compte que el cost en materials es podria abaratir amb un factor de 0.7 pel fet de comprar a l'engròs quedaria un preu final d'aproximadament 150 €. A continuació es presenta el preu d'una paret de dos metres d'alçada en funció de la seva longitud.

Per tal de veure les dades obtingudes es presenta la Taula 10.2.

<i>Longitud (m)</i>	<i>Nombre de Flybricks</i>	<i>Cost de la Flywall</i>
2	250	37,500 €
3	375	56,250 €
4	500	75,000 €
5	625	93,750 €
6	750	112,500 €
7	875	131,250 €
8	1000	150,000 €
9	1125	168,750 €
10	1250	187,500 €

Taula 10.2: Paret de 2 m d'alçada en funció de la seva longitud

Tal i com es pot observar a la taula el cost de fer una paret, sense contemplar costos de muntatge i instal·lació d'equips, és molt elevat. Per aquest motiu es presenten alternatives constructives a la secció 13 *Planificació del projecte i futur desenvolupament*.

## 11 Estudi de l'impacte ambiental del projecte

En aquesta secció es detalla amb la màxima precisió possible la influència del present projecte al medi ambient. Cal doncs tenir en compte les emissions contaminants al medi durant el seu desenvolupament.

Cal tenir en compte les emissions provocades per l'ús d'un ordinador, els desplaçaments de recollida de peces i altres.

- Consum elèctric

Si es té en compte que s'ha treballat amb un ordinador amb un consum de potència elèctrica d'aproximadament 100 W, comptant que s'ha utilitzat aproximadament 500 hores de la totalitat del projecte s'obté un consum elèctric de:

$$Energia = Potencia \cdot temps; E = P \cdot t = 100 \cdot 500 = 50 kWh \quad (11.1)$$

Si es té en compte l'emissió de  $CO_2$  en funció de l'energia gastada s'obté el següent factor:

$$1 kWh = 0.385 kg CO_2 [11]$$

$$50 kWh \cdot 0.385 \frac{kg}{kWh} = 19.25 kg de CO_2 \quad (11.2)$$

Si es procedeix de la mateixa manera amb la impressió de la peça 3D s'obté, amb un consum de 100 W, durant 19 hores, un consum de 1.9 kWh i unes emissions 730 g de  $CO_2$ .

- Desplaçaments variis

Es considera que s'han recorregut aproximadament 300 km, amb unes emissions de 150 g/km [10] s'obté:

$$300 km \cdot 150 \frac{g}{km} = 45 kg de CO_2 \quad (11.3)$$

- Transport de peces

La gran majoria de peces han estat transportades des de Xina, això repercuteix en la contaminació i influència del projecte al medi ambient. No obstant, és complicat quantificar aquests factors.

## 12 Seguretat

En aquesta secció es presenten les mesures de seguretat preses durant el transcurs d'aquest projecte per motiu de la seva part constructiva.

Els criteris de seguretat que s'han seguit han estat d'acord amb la Normativa del departament de riscos laborals *Normes de seguretat (FNS)* de l'Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) [17]. Es presenten a continuació.

### 12.1 Fusió de material plàstic

Per tal d'extreure la part sobrant de material de la peça 3D impresa i per a insertar la tornilleria per a la subjecció dels motors ha sigut necessari l'ús d'eines de tall i de fusió de plàstic mitjançant metall escalfat. Les mesures de seguretat preses en aquest cas són les mateixes que marca la normativa per a soldadura amb fil d'estany.

### 12.2 Treballs de Soldadura

Durant el treball de soldadura dels elements a la placa controladora s'ha requerit seguir el següent procediment de la *Normativa FNS029* [18] referent a la soldadura amb fil d'estany:

- Mantenir la zona de treball ventilada.
- No mullar l'aparell ni fer-ne ús en un lloc humit.
- No utilitzar el soldador en presència de gas o materials inflamables.
- Per a esmolar les puntes del soldador, fer ús d'una llima.
- Recolzar el soldador al seu suport específic
- Desconnectar de la xarxa i deixar refredar després del seu ús.

*Equips de protecció individual (EPI):* Ulleres de protecció.

### 12.3 Brocat d'orificis

Durant el treball de brocat dels forats per a la inserció de cargols de fixament dels motors s'ha requerit seguir el següent procediment de la *Normativa FNS023* [19] referent a l'ús d'un trepant o *taladro*:

## Secció 12: Seguretat

---

- Subjectar la peça amb una mordassa i treballar sobre una base ferma.
- Comprobar que la broca està en bones condicions.
- Comprovar que el botó d'encesa està en apagat i estar al costat de la zona de treball abans de connectar la màquina a la corrent.
- Realitzar un primer accionament en buit per a comprovar el funcionament de la màquina.
- Esperar a que pari de girar la broca abans de recolzar la màquina.
- Treure o canviar de broca sense corrent a la màquina.

*Equips de protecció individual (EPI):* Ulleres de protecció.

### 12.4 Operació de la Flywall

Durant l'operació de la Flywall serà necessari seguir els procediments de seguretat de la *Normativa FNS020* en connexions elèctriques per a la instal·lació dels aparells de connexió wifi i pels sistemes de captura de moviment.

Per una altra banda, durant el moviment de Flybricks per a la constitució de la Flywall serà necessari l'acondicionament de la sala. És necessari que l'operació tingui lloc en un espai diàfan i sense obstacles.

## 13 Planificació del projecte i futur desenvolupament

### 13.1 Planificació del projecte

En aquest apartat es presenta la planificació de la fase II del projecte de construcció de la Flywall.

A la Taula 13.1 es poden observar les tasques previstes, les seves correlacions, i en general l'evolució temporal del projecte. S'ha utilitzat la metodologia Gantt.

<i>Tasca</i>	<i>Descripció</i>	<i>Tasques Anteriors</i>
TP-1	Estudi sistema separació	
TP-2	Selecció sistema separació	TP-1
TP-3	Integració sistema separació	TP-2
TP-4	Implementació path following algorithm	
DV-1	Integració al disseny	TP-2, TP-3
DV-2	Viabilitat del disseny	DV-1
DV-3	Selecció disseny final	DV-2
DV-4	Producció del disseny	DV-3
DV-5	Creació del CAD	DV-4
A-1	Cerca de peces	TP-3, DV-3
A-2	Construcció final	A-1
PV-1	Proves de vol	A-2
PV-2	Modificacions	PV-1
PS-1	Algoritme control global	TP-4
PS-2	Implementació algoritme	PS-1
PS-3	Proves Flywall	PS-2
PD-1	Documentació del procés	
R-1	Redactat del treball	
R-2	Preparació presentació oral	R-1

Taula 13.1: Correlacions entre les tasques del futur desenvolupament del projecte.

#### Llegenda

Tasques Preliminars - TP	Prova de Sistemes – PS
Disseny del Vehicle – DV	Documentació del Procés – PD
Assembly – A	Paper i Presentació Oral – R
Proves de Vol– PV	

La figura 13.1, mostra la informació descrita per a taula sobre aquestes línies, projectada en un espai temporal.

## Secció 13: Planificació del projecte i futur desenvolupament

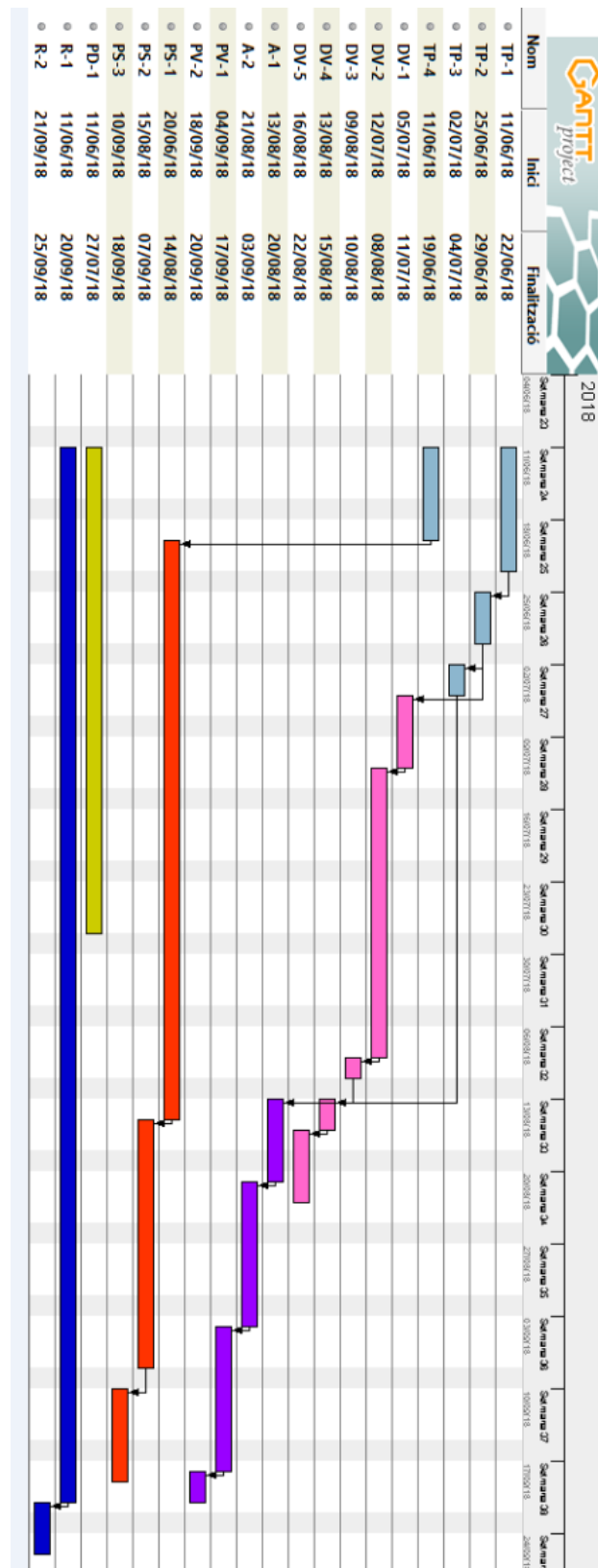


Figura 13.1: Diagrama Gantt del projecte futur

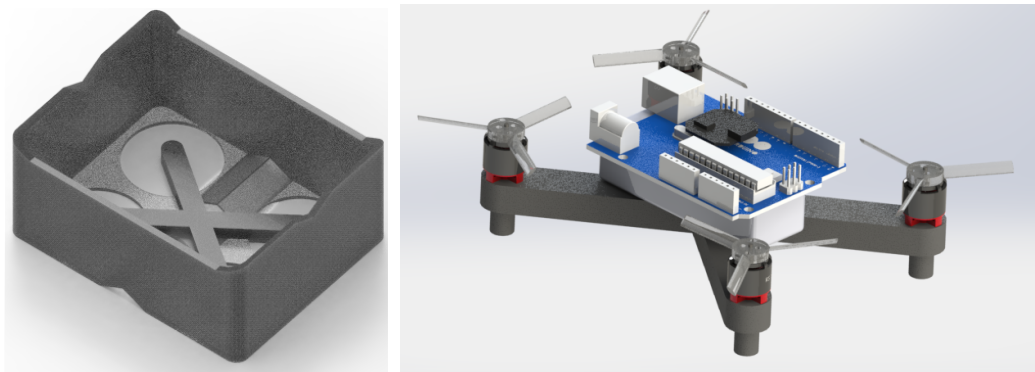
## Secció 13: Planificació del projecte i futur desenvolupament

### 13.2 Futur desenvolupament

Aquest projecte té com a fi el disseny i prototipat parcial d'un sol vehicle autònom o Flybrick, no obstant, es deixen plantejades diferents característiques de millora, com també possibles solucions per al projecte de construcció de la Flywall.

El disseny del Flybrick està constituït d'un sol bloc estructural amb les hèlix, rotors i tots els components que encareixen el preu del vehicle. És per això que es presenta l'alternativa d'una possible separació entre peces que permeti retirar aquests components, un cop el Flybrick està anclat a la seva posició. Així doncs, el Flybrick es podria separar en dues parts:

- Estructura principal: la carcassa semblant a un maó. Veure Figura 13.2 a)
- Estructura secundària: Miniestructura amb els motors, hèlixs, controladora, ESC i bateria. Veure Figura 13.2 b)



(a) Estructura principal del Flybrick.

(b) Estructura Secundària del Flybrick.

Figura 13.2: Desacoplament de parts del Flybrick.

D'aquesta manera, apareixen dues alternatives durant el funcionament del Flybrick, la primera és la seva operació estàndard, amb el moviment, situació i anclament, i l'altra és la capacitat que afegeix aquesta nova característica de separació de peces. En cas que s'esculli fer la Flywall permanent, desapareix la necessitat de deixar els motors i elements de preu elevat bloquejats i perduts dins d'una paret.

## Secció 13: Planificació del projecte i futur desenvolupament

A la Figura 13.3 es pot observar un renderitzat de com es desacopla l'estructura secundària de la principal.

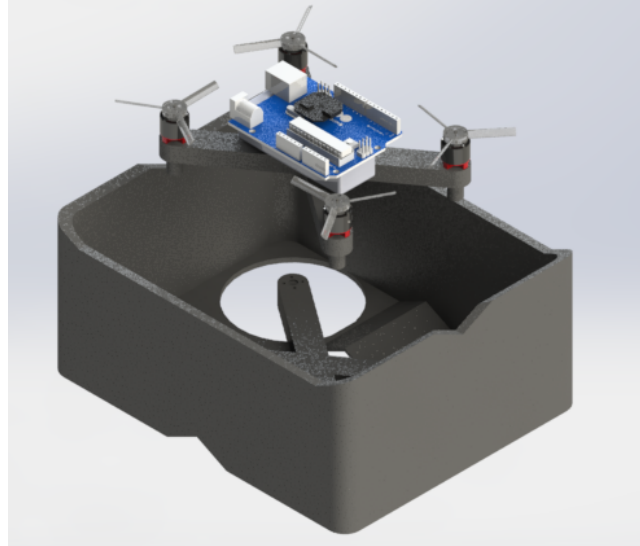


Figura 13.3: Separació de parts del Flybrick.

Ara, si es recalcula el cost d'una Flywall en comparació amb el calculat a l'apartat 10.1 *Estudi de viabilitat econòmica* es pot observar clarament l'estalvi de poder separar el Flybrick en dues parts. S'adjunten els costos dels dos mètodes, la columna de tot integrat és el cost d'una Flywall si es deixen els motors incorporats, el cost només estructural és el cost de només el marc. La diferència econòmica es pot observar a la Taula 13.2.

<i>Longitud</i>	<i>Nombre de Flybricks</i>	<i>Cost Flywall tot integrat</i>	<i>Cost Flywall només estructural</i>
2	250	37,500 €	5,000 €
3	375	56,250 €	7,500 €
4	500	75,000 €	10,000 €
5	625	93,750 €	12,500 €
6	750	112,500 €	15,000 €
7	875	131,250 €	17,500 €
8	1000	150,000 €	20,000 €
9	1125	168,750 €	22,500 €
10	1250	187,500 €	25,000 €

Taula 13.2: Cost d'una paret de 2 m en funció de la longitud.



## 14 Conclusions del treball

Aquest projecte està dividit en més d'una fase, per tant, la primera conclusió que es pot extreure és que encara no ha finalitzat. En una segona fase del projecte es podrien dissenyar els algoritmes de control d'un eixam de Flybricks i poder dur a terme una demostració de l'acoblament de la Flywall.

El resultat de la fase I és un vehicle aeri, el Flybrick, amb capacitat de moviment autònom que permet l'acoblament amb altres vehicles del seu mateix tipus per a la constitució d'una estructura de tamany major, la Flywall. El vehicle, un cop anclat a la seva posició, es carregarà elèctricament mitjançant un circuit constituït per diferents vehicles independents. La capacitat d'operació és d'aproximadament dos minuts i mig, i la seva capacitat de maniobra inclou moviment en els angles de roll, pitch i yaw. El mètode de control ha estat definit, amb les diferents alternatives per al futur desenvolupament del projecte.

Així doncs es pot concloure que la primera fase del projecte s'ha completat adequadament, assolint l'objectiu i els requeriments inicials proposats.

## 15 Bibliografia

- [1] “Apunts assignatura UAV carrera Grevà.” [Online]. Available: [http://atenea.upc.edu/pluginfile.php/2304990/mod\\_resource/content/1/UAV%20modelling%282%29.pdf](http://atenea.upc.edu/pluginfile.php/2304990/mod_resource/content/1/UAV%20modelling%282%29.pdf)
- [2] “Arquitectura del funcionament de diferents tipus d’envà mòbil. <http://www.reiter.es/es/producto-tabiquemovil.php>.” [Online]. Available: <http://www.reiter.es/es/producto-tabiquemovil.php>
- [3] “Bucle de control d’un vehicle aeri.” [Online]. Available: <http://atenea.upc.edu/course/view.php?id=45654>
- [4] “Controlador de velocitat EMAX D-SHOT.” [Online]. Available: <https://www.emaxmodel.com/d-shot-bullet-series-12a-esc-blheli-s.html>
- [5] “Controladora F3 Femto.” [Online]. Available: <https://www.emaxmodel.com/emax-micro-brushless-power-system-combo-1.html>
- [6] “Cost estipulat per 1 kWh d’electricitat.” [Online]. Available: <https://tarifasgasluz.com/faq/precio-kwh-espana-2017>
- [7] “Disseny de control d’un drone.” [Online]. Available: <https://www.rs-online.com/designspark/build-a-uav-vs-buy-a-uav>
- [8] “Drones similars amb prestacions diferents.” [Online]. Available: <https://www.emaxmodel.com/babyhawk-race-bnf.html>
- [9] “Eixos de referència drone.” [Online]. Available: <https://www.wiselby.com/research/ardupilot/modeling/>
- [10] “Emissions per quilòmetre.” [Online]. Available: <http://carerac.com/emisiones/ford/focus.html>
- [11] “Equivalència kWh a kg CO<sub>2</sub>.” [Online]. Available: <https://www.camarazaragoza.com/>
- [12] “Esquema connexió controladora F3.” [Online]. Available: <https://www.emaxmodel.com/download/babyhawk-femto-manual-v2.pdf>
- [13] “Estat actual del mercat d’empreses de drones.” [Online]. Available: <http://www.droneii.com/top20-drone-company-ranking-q2-2016>
- [14] “Mapa motors Brushless.” [Online]. Available: <http://emax-usa.com/emax-rs1106-micro-brushless-motor-1-pcs/>

## Secció 15: Bibliografia

---

- [15] “Motor Brushless RS1106 6000KV.” [Online]. Available: <https://www.emaxmodel.com/emax-rs1106-micro-brushless-motor-cw-thread-2006.html>
- [16] “Nomenclatura hèlixs.” [Online]. Available: <https://oscarliang.com/choose-propellers-mini-quad/>
- [17] “Normativa UPC.” [Online]. Available: <https://www.upc.edu/prevencio/es/seguridad-e-higiene/normas-seguridad-fns>
- [18] “Normativa UPC per a l'ús de soldadura amb fil d'estany.” [Online]. Available: <https://www.upc.edu/prevencio/es/seguridad-e-higiene/archivos/normas-de-seguridad/fns-029-soldadura-con-hilo-de-estano>
- [19] “Normativa UPC per a l'ús de trepant.” [Online]. Available: <https://www.upc.edu/prevencio/es/seguridad-e-higiene/archivos/normas-de-seguridad/fns-023-taladradora-portatil-electrica>
- [20] “Preu hora enginyer novel fixat per la UPC.” [Online]. Available: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/9725/PRESUPUESTO.pdf>
- [21] “Protocols TX i RX.” [Online]. Available: <https://oscarliang.com/pwm-ppm-sbus-dsm2-dsmx-sumd-difference/>
- [22] “Resistivitat del Coure.” [Online]. Available: <https://www.elektrisola.com/es/materiales-conductores/cobre.html>
- [23] “Taula operació motor i hèlix.” [Online]. Available: <https://www.emaxmodel.com/emax-rs1106-micro-brushless-motor-cw-thread-7501.html>
- [24] F. Augugliaro, S. Lupashin, M. Hamer, C. Male, M. Hehn, M. W. Mueller, J. S. Willmann, F. Gramazio, M. Kohler, and R. D'Andrea, “The flight assembled architecture installation: Cooperative construction with flying machines,” *IEEE Control Systems*, vol. 34, no. 4, pp. 46–64, Aug 2014.
- [25] J. M. Donald, “Indoor Flight of AR Drone 2 . 0 UAV in Vicon Motion Capture System,” pp. 1–9, 2017.
- [26] P. B. Sujit, S. Saripalli, and J. B. Sousa, “Unmanned aerial vehicle path following: A survey and analysis of algorithms for fixed-wing unmanned aerial vehicless,” *IEEE Control Systems*, vol. 34, no. 1, pp. 42–59, Feb 2014.